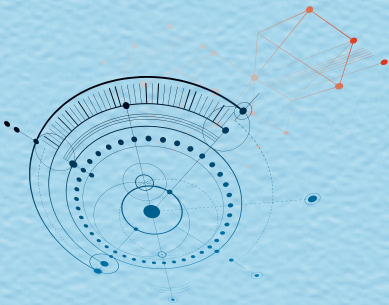


Recerca i Tecnologia en ENGINYERIA GRÀFICA I DISSENY

a la Universitat Politècnica de Catalunya (Volum 2)



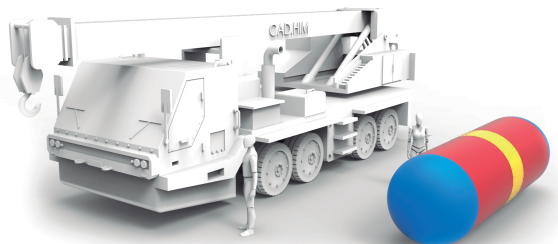
OmniaScience
Monographs



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

Editors:

Jose Luis Lapaz Castillo
Oscar Farrerons Vidal
Noelia Olmedo Torre



Recerca i Tecnologia en Enginyeria Gràfica i
Disseny a la Universitat Politècnica de Catalunya

(Volum 2)

Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny - UPC

Terrassa, febrer de 2021

Recerca i Tecnologia en Enginyeria Gràfica i Disseny a la Universitat Politècnica de Catalunya (Volum 2)

Editors: Jose Luis Lapaz Castillo, Oscar Farrerons Vidal, Noelia Olmedo Torre



1ra edició © 2021 OmniaScience (Omnia Publisher SL)

www.omniascience.com



DOI: <https://doi.org/10.3926/ege2021>

ISBN: 978-84-122028-8-5

Disseny de coberta: OmniaScience

Fotos de coberta: © 2021 Nil Pegueró Martínez i Manuel López Membrilla

Índex

Pròleg	7
Fonaments Teòrics i Anàlisi Experimental Multivariable per l'Estudi Hidrogeoquímic de l'Aigua de les Fonts del Montseny	13
Anàlisi del Compromís dels Països de la Conca Mediterrània amb l'Objectiu del 1.5° C de l'Acord de París	31
Experiencias de Aprendizaje Activo en Ingeniería Gráfica	37
Aprovechamiento de un Residuo Papelero para la Obtención de Nanocelulosa	49
Packaging y Sostenibilidad en el e-Commerce	63
Anàlisi de l'Experiència Educativa en Estudis d'Enginyeria durant la Pandèmia de la COVID-19	79
L'Estanyol de Santa Fe. Passat, Present i Futur d'una Obra d'Enginyeria Hidràulica al Parc Natural Reserva de la Biosfera del Montseny	93
Obtention of Fibers with High Cellulose Content by Means of Enzymatic and Chemical Treatments	105
Mejora de las Propiedades de Films de Nanocelulosa mediante la Adición de Plastificantes para su aplicación en la Industria del Embalaje de Alimentos	115
Solar-Based Energy Technologies Potential to Meet a Hospital Energy Needs	131

Indicios y Evidencias de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) Identificables en Trabajos de Final de Estudios (TFE)	147
Design and Development of Biomedical Applications for Post-Stroke Rehabilitation Subjects	159
Algunas Técnicas y Herramientas para Dificultar el Plagio en Evaluaciones No Presenciales	173
El Disseny Participatiu: Dinàmiques Co-Creatives a Projectes Acadèmics	183
Aplicación de Modularidad a Separadores de Hidrocarburos y Grasas	205
Estudio del Comportamiento Biomecánico de Arteria Carótida Humana Mediante Simulación Multifísica	221
Procesado y Fabricación de Modelos Cardiovasculares por Impresión 3D	237
Medidas Experimentales Obtenidas con Videocámaras del Movimiento de Partículas Plásticas Inducido por el Oleaje	253

Pròleg

L'any 2020 quedarà marcat durant molt de temps per la irrupció de la pandèmia de la COVID-19, que ha vingut a posar en valor allò que és important, més enllà de les superficialitats en que de vegades es valoren les coses. La tasca del personal sanitari ha estat encomiable, però tothom, des dels seus propis àmbits professionals, ha aportat el seu granet de sorra per ajudar a superar, i encara hi continuem, aquesta terrible pandèmia. Els/les professors/es i investigadors/es del departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (DEGD) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC BarcelonaTech) hem continuat la nostra tasca docent adaptant-la per complir els protocols sanitaris de cada moment, i perseverant amb la recerca, entesa com a paradigma que permet la millora de la societat en general. Els professors/es i investigadors/es del DEGD, en col·laboració amb grups de recerca de la UPC i d'altres universitats, hem prosseguit la tasca d'investigació avançada, pluridisciplinària, innovant amb creativitat noves eines de coneixement. En els capítols d'aquest llibre podeu veure una petita mostra d'aquesta recerca científic-tecnològica.

Oscar Farrerons, Joana Lalueza i Nuria Camp han investigat i desenvolupat un sistema d'anàlisi experimental multivariable per l'estudi hidrogeoquímic de l'aigua, en aquest cas aplicat a les fonts del Montseny, aprofitant les dades farmacològiques obtingudes en els darrers quatre anys en aquest massís reserva de la biosfera. Gràcies a les anàlisis de components principals i de clústers s'ha determinat quins paràmetres són els diferenciadors de cada àmbit del Montseny.

Bàrbara Sureda i Olga Alcaraz ens presenten el treball del Grup sobre Governament del Canvi Climàtic de la UPC (GGCC) sobre el compromís dels països de la conca mediterrània amb l'objectiu de l'1.5°C de l'acord de París. Han comparat les emissions acumulades de les actuals Contribucions Determinades a Nivell Nacional (NDCs) dels països fins el 2030. El càlcul del repartiment de les emissions acumulades s'ha fet amb el Model de Justícia Climàtica desenvolupat pel GGCC.

Noelia Olmedo, Marta Peña i Rosó Baltà ens expliquen diferents experiències d'aprenentatge actiu a l'enginyeria gràfica. El desenvolupament de les tècniques Flipped Classroom, Design Thinking, Visual Thinking i Project Based Learning, aplicades a l'assignatura troncal d'Expressió Gràfica, i pel desenvolupament de problemes amb el Disseny Assistit per Ordinador, el que ha suposat una millora dels resultats acadèmics de l'assignatura.

Noemi Huete i M. Blanca Roncero del CELBIOTECH Paper Engineering Research Group, ens narren l'aprofitament d'un residu paperer per a la obtenció de nano-cel·lulosa, com a resposta a les millores tecnològiques continuades de la indústria paperera, i per solucionar els problemes derivats de l'ús de materials procedents de la indústria petroquímica, el que afavoreix l'interès per trobar materials renovables que substitueixin els derivats de petroli.

Sílvia Escursell, Pere Llorach i M. Blanca Roncero, del grup CELBIOTECH i ELISAVA Escola Universitària de Disseny i Enginyeria de Barcelona exposen l'enorme impacte ambiental que està tenint l'increment exponencial del comerç electrònic, quant a generació de residus i més trajecte d'emissors de carboni. Es proposa aportar solucions adequades pensant des de la visió del disseny, l'economia circular i les 5R.

Rosó Baltà, Noelia Olmedo i Marta Peña analitzen l'experiència educativa en estudis d'enginyeria durant la pandèmia de la COVID-19. Aquestes professores han portat a terme una enquesta anònima a 122

estudiants de segon, tercer i quart curs del Grau en Disseny Industrial i Desenvolupament del Producte de l'ESEIAAT, amb resultats positius quant a docència virtual. L'estudi identifica bones pràctiques que seran de valor per la docència a distància, més enllà de la pandèmia.

Oscar Farrerons i Carles Ferrer estudien el passat, present i futur d'una obra d'enginyeria hidràulica capdavantera a la vall de Santa Fe del Montseny. L'Estanyol és una zona humida d'especial valor ecològic, però no té un origen natural sinó que s'ha creat de forma artificial, degut a la construcció de la resclosa que va afavorir la sedimentació de material. Aquesta acumulació de material sòlid és estimada per mitjà d'un model numèric simplificat basat en les equacions que descriuen els processos d'erosió, transport i sedimentació.

Elisabet Quintana, Cristina Valls i M^a Blanca Roncero proposen la combinació d'un tractament enzimàtic i químic tant en l'etapa de blanqueig com en l'etapa de purificació per obtenir cel·lulosa per dissoldre com a matèria primera en la fabricació de derivats. La cel·lulosa per dissoldre obtinguda es sotmet a reaccions d'acetilació i després es preparen films d'acetat com a exemple d'un producte final.

Julia Fernández-Santos i altres membres de CELBIOTECH milloren les propietats de films de nano-cel·lulosa mitjançant l'addició de plastificants per la seva aplicació a la indústria de l'embalatge d'aliments, superant els resultats tant la resistència de tracció com l'allargament. Les conclusions presentades són de gran aplicabilitat a la indústria i tecnologia d'empaquetat alimentari.

Guillem Guerrero i Alba Ramos diluciden el potencial de les tecnologies en l'energia solar per cobrir les necessitats d'energia elèctrica i tèrmica de l'Hospital de Sant Pau de Barcelona. S'estudien les tecnologies modulars basades en energia solar disponibles al mercat, així com les condicions meteorològiques de la ubicació i la demanda energètica de l'hospital, a la vegada que s'identifiquen tres tecnologies diferents.

Jose Luis Lapaz, Cesc Mestres i Lucia Soto evidencien, mesuren i cataloguen, la presència dels 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) propugnats per la ONU, en Treballs Finals d'Estudi (TFE) de l'àrea d'enginyeria de disseny i desenvolupament del producte de la UPC. Això permetrà proposar en el futur nous TFE potenciant els reptes associats als ODS que queden molt poc referenciats en els treballs portats a terme fins ara.

Jordi Torner i altres investigadors de l'EEBE desenvolupen un projecte d'aplicacions computacionals centrades en la rehabilitació de diferents parts del cos. Aquestes aplicacions ajuden a la rehabilitació motora i cognitiva de subjectes post-ictus. S'han tingut en compte les indicacions proporcionades per l'Associació de Diversitat Funcional d'Osona, que utilitza les aplicacions desenvolupades en els seus processos de rehabilitació per fer-les menys monòtones i més interactives.

Joan A. López Martínez, juntament amb d'altres professors, ens explica algunes tècniques i eines per dificultar la còpia en les avaluacions no presencials, destacant que la parametrització, l'automatització i la programació dels sistemes CAD es converteixen en eines de gran utilitat per generar versions diferents d'una mateixa activitat, podent arribar fins l'extrem de generar geometries i enunciats personalitzats per a cada alumne.

Cesc Mestres, Lucia Soto i Jose Luis Lapaz fomenten la co-creació amb equips multidisciplinaris dels diferents graus d'enginyeria que es cursen a la ESEIAAT, per generar projectes més innovadors i pròxims a la realitat tecnològica industrial, per tal d'esdevenir una avantguarda en línies d'innovació docent a través de les enginyeries i els seus projectes acadèmics.

Manuel López Membrilla i Nil Peguero, presenten el projecte per aplicar modularitat als separadors d'hidrocarburs d'un empresa industrial multinacional. El problema logístic de les dimensions i volums d'aquests

dipòsits, es resol concentrant el coneixement en materials, logística, mecànica i resolent-ho amb un procés creatiu amb diferents alternatives.

Sergio Gómez González, José López López i Enrique Fernández Aguado, simulen numèricament el comportament del flux sanguini del sistema cardiovascular. S'estudia la interacció multi-física entre el flux i les parets d'una ramificació de l'artèria caròtida reconstruïda a partir d'imatges de ressonància magnètica.

Altres cop Sergio Gómez González, junt amb professors de l'EEBE, fabrica models cardiovasculars per impressió 3D a partir d'imatges mèdiques obtingudes tractades per programes informàtics que faciliten tota una sèrie d'operacions necessàries per l'obtenció de les instruccions que permeten fabricar els models físics amb la precisió requerida, suposant un gran avantatge en la gestió pre i post operatòria.

Jose M. Alsina i Erik van Sebille descriuen la realització de mesures experimentals en un canal d'onades utilitzant mesures òptiques tipus PTV, amb variants en funció del peralt i la diferent densitat i mida del plàstic que hi és arrossegat. Això els permet diferenciar els dos tipus de partícules, segons siguin flotants o no.

Gener 2021

Jose Luis Lapaz,
Director departament d'Enginyeria Gràfica i Disseny

Oscar Farrerons,
Sotsdirector departament d'Enginyeria Gràfica i Disseny

Noelia Olmedo Torre,
Secretària departament d'Enginyeria Gràfica i Disseny

Fonaments Teòrics i Anàlisi Experimental Multivariable per l'Estudi Hidrogeològic de l'Aigua de les Fonts del Montseny

Òscar Farrerons Vidal

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

Joana Lalueza Baro

EEBE-ETSEIB. Departament d'Enginyeria Química (UPC)

Núria Camp Torres

Borges International Group

Resum

El "Projecte Fonts del Montseny" ha analitzat químic-mineralment més de dos centenars de fonts de la Reserva de la Biosfera del Montseny. Per comprovar la influència multivariable a les aigües, durant 2020 es va dur a terme una investigació a l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est, i estudiar un tractament estadístic per tal de trobar similituds i diferències dels paràmetres analitzats. Les anàlisis proposades han pogut concloure diferències hidro-mineralològiques en les aigües de les fonts per cada àmbit del Montseny i s'ha pogut validar que la zones geogràfiques desenvolupades han estat seleccionades correctament en diferenciar nord, est i oest. Gràcies a les anàlisis de components principals i de clústers s'ha determinat quins paràmetres són els diferenciadors de cada àmbit. El Montseny oest té una mineralització alta degut a la gran quantitat de roca calcària present, compta amb aigües bicarbonatades i càlciques d'alts continguts minerals. Les zones est i nord del Montseny són d'aigües de mineralogia dèbil. La seva diferenciació ha estat realitzada per l'altitud de les mostres.

Abstract

The “Fonts del Montseny Project” has chemically and minerally analyzed more than two hundred sources from the Montseny Biosphere Reserve. To check the multivariable influence on water, during 2020 a research was carried out at the School of Engineering of Barcelona East, to study a statistical treatment with a view to finding similarities and differences of the analyzed parameters. The proposed analyzes have been able to find out hydro-mineralogical differences in the waters of the springs of each area of the Montseny and it has been verified that the developed geographical areas have been selected correctly by differentiating between North, East and West. The analyses of the main components and clusters have determined the parameters that distinguish each zone. The western Montseny has a high mineralization due to the large amount of limestone present and also has bicarbonate and calcium waters of high mineral content. The eastern and northern areas of the Montseny have weak mineralogical waters. Their differentiation has been made by the altitude of the samples.

1. Introducció

Durant els darrers anys s’ha portat a terme l’anàlisi química de l’aigua de 223 fonts del Montseny, en tres treballs de camp focalitzats en tres zones geogràfiques: el nord al 2017, l’oest al 2018 i l’est al 2019. Els paràmetres han estat analitzats pel farmacèutic Fortià Prat al laboratori homologat Prat de Torelló. Per comprovar la influència multivariable en la mineralogia i química de les aigües, durant 2020 es va dur a terme un Treball Final de Grau de l’Escola d’Enginyeria de Barcelona Est. El director del TFG ha estat Oscar Farrerons, codigit per l’enginyera Joana Lalueza, redactat per Paleshores estudiant Núria Camp Torres, avui enginyeria química per la UPC. El TFG, que va rebre una qualificació d’excel·lent, investiga un tractament estadístic per trobar similituds i diferències dels paràmetres químicominerals analitzats entre les fonts del Montseny, basant-se en una anàlisi de components principals i una anàlisi de clústers realitzats amb programari informàtic. Per l’estudi s’usen “Eigenvector” i “Eigenvalues”.

Aquest article presenta un resum de les bases teòriques emprades, els resultats experimentals obtinguts amb l'anàlisi de components principals i jeràrquica de clústers, la discussió de resultats, i finalment les conclusions obtingudes.

2. Fonaments teòrics

El principal objectiu és trobar una relació de tots els paràmetres que determini la mineralització geogràfica de les aigües de les tres zones estudiades del Montseny. Es porta a terme una anàlisi multivariable, ja que molts factors poden influenciar a la mineralització de la mostra d'aigua. L'objectiu és resoldre si en les dades es pot mostrar una clara diferència de mineralització i de qualitat d'aigua entre les zones nord, oest i est del Montseny. La recerca s'ha basat en un tractament estadístic experimentat anteriorment que va determinar la qualitat d'aigua d'una zona geogràfica (Herrera Murillo, 2009). S'ha seleccionat dos extensius anàlisis estadístics: de components principals (PCA) i anàlisi de clústers, un conjunt d'unitats funcionals interconnectades per xarxa que actuen com una sola unitat. Els components principals trobaran quin són els paràmetres per la diferenciació de les zones, i després continuarem amb l'anàlisi de clústers on es podrà comprovar i diferenciar d'una forma objectiva les diferents zones.

2.1. Anàlisi de components principals

Un dels problemes en l'extracció de conclusions en una base de dades és trobar una relació coherent entre les variables proposades. Per trobar una correlació entre elles i fer que totes s'uneixin per crear una nova variable anomenada principal, s'ha de dur a terme l'anàlisi de components primordials.

Per estudiar les relacions que es presenten entre variables correlacionades es pot transformar un conjunt original de variables en un altre en que no estiguin relacionades entre si. Amb aquestes anàlisis es

trobaran totes les variables correlacionades en una, per trobar una dispersió coherent a les mostres.

El mètode PCA serveix per determinar quines son les variables que marquen la diferència en les fonts de les tres zones geogràfiques del Montseny. L'anàlisi de components principals es centra en l'estadística descriptiva.

Altre problema que pot mostrar en l'anàlisi és que no tot el 100% de la mostra es resumeix en els components principals. No totes les dades compartiran aquests components centrals, només un percentatge. Els objectius dels components principals són: Utilitzar noves variables no relacionades entre si que substitueixin les “p” variables inicials correlacionades, sempre intentant que es conservi el màxim d'informació; Estudiar la correlació entre variables; Visualitzar grups en els diferents plans que es generin amb les noves variables; i mostrar “outliers”, dades que no corresponen a nivells estàndard.

2.2. Anàlisi de clústers

L'anàlisi de clústers és una tècnica estadística multivariant que busca agrupar variables intentant adquirir la màxima homogeneïtat en el mateix grup i la major diferència entre clústers. En la pràctica no es poden examinar totes les possibilitats d'agrupar elements. Una solució són els mètodes jeràrquics. Hi ha dos subgrups: els mètodes aglomerats i els jeràrquics dividits. Tots dos utilitzen una figura en comú, que és un dendrograma que il·lustra les diverses maneres de divisions i d'agrupaments en cada etapa. L'anàlisi de clústers requereix que s'estableixi un relació de similitud entre els objectes, anomenada distància. Aquesta permet interpretar geomètricament moltes tècniques d'anàlisi multivariant, ja que es pot analitzar diversos punts d'un espai mètric. Per a la determinació de clústers no hi ha un sol criteri, ja que depèn de l'objectiu a dur a terme. Per obtenir una agrupació jeràrquica, hi ha diversos algorismes a utilitzar.

Després dels mètodes aplicats és necessari saber quina és l'òptima solució de numero de clústers. Si hi ha un gran salt entre grups d'una etapa a una altra, aquest fet suggereix que els clústers que estan molt junts, havien estat al mateix grup. Mentre que els grups que estiguin en una etapa següent, estaven des de l'inici relativament separats. Aquest fet implica que el numero òptim de conglomerats és abans del gran salt de distància (Cornish, 2007).

3. Resultats experimentals

3.1. Anàlisi de components principals

L'objectiu del TFG és utilitzar l'estadística per trobar les diferències en les aigües de les fonts del Montseny i quines són variables clau per la seva distinció. L'aportació més important de l'anàlisi de components principals és la quantificació de la significança de les variables. Aquesta anàlisi ha estat representada pel programa SPSS Statistics i el programa R. Els resultats gràfics s'han expressat amb Matlab, Excel i R.

La **Primera Anàlisi** és partir de les variables definides i estudiades, on s'ha dut a terme una anàlisi de components principals. El primer pas és analitzar la matriu de correlació entre variables, per descartar les que no siguin necessàries i que aportin informació redundant. Per dur a terme la matriu de correlacions, s'ha realitzat una anàlisi univariable de les 223 mostres, és a dir, trobar la mitjana i la desviació típica de cada variable. Després d'obtenir els resultats de les mitjanes es busca la matriu de correlació entre variables.

Per saber si l'anàlisi de components principals és el procediment òptim per l'estudi, s'ha dut a terme un test previ amb la matriu de correlació, per constatar la independència de les variables. Hi ha dos tests que s'han verificat. La mesura d'adequació mostral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) és un índex que compara la magnitud dels coeficients de correlació observats amb la dels coeficients de correlació parcial. El test

d'esfericitat de Barlett comprova si la matriu de correlació "R" divergeix significativament amb la matriu d'identitat.

Als resultats obtinguts en la primera anàlisi el test de KMO es considera acceptable, ja que supera el 0,5. Com que el nivell de significança del test d'esfericitat de Barlett és 0, es conclou que el resultat és positiu i es pot procedir amb el procediment proposat.

Per millorar les altes correlacions i millorar el test de KMO, s'estudien aquelles correlacions que superen el coeficient de 0,85. A partir de 0,85 es poden considerar altes i poden afectar l'anàlisi de components principals (Rowntree, 1984).

La duresa de l'aigua de les fonts té uns coeficients de correlació que oscil·len entre 0,966 (amb el calci) i 0,888 (amb el magnesi). La duresa és la concentració total de ions calci i magnesi expressada com ions de carbonat de calci. Els valors exposats demostren que hi ha una relació directa d'aquests paràmetres amb les mostres, ja que la matriu de correlació presenta altes relacions entre el magnesi, calci i duresa. Altres paràmetres en que es pot observar una alta correlació són el bicarbonat amb la duresa (0,945), el calci (0,932) i el magnesi (0,848).

La conductivitat de l'aigua està relacionada amb la concentració de les sals en dissolució. La dissociació d'aquests crea ions capaços de transportar corrent elèctrica. La duresa és un dels components que genera conductivitat, ja que té dos ions calci i magnesi. Es comprova els coeficients de correlació entre la conductivitat amb la duresa (0,955), calci (0,945) i magnesi (0,838).

Les concentracions d'anions que més contribueixen a la conductivitat de l'aigua són el sulfat i bicarbonat. Amb els resultats obtinguts es pot observar una clara correlació entre els tres paràmetres: la conductivitat i el sulfat arriben a un coeficient de 0,859; la conductivitat i el bicarbonat a 0,921.

El bicarbonat és un paràmetre que està associat al pH de l'aigua, ja que segons el seu estat d'acidesa les concentracions de bicarbonat i carbonats varien.

S'ha calculat que la concentració mitjana de bicarbonat que es pot trobar en les mostres d'aigua analitzada correspon a $2,6 \cdot 10^{-3}$ mols/L. Per no alterar els resultats i dur a terme l'anàlisi de components principals correctament, s'ha decidit eliminar com a variables el calci i el magnesi, deixant la duresa com a la variable que les representi.

A la **Segona Anàlisi** es presenta la matriu diagonalitzada sense calci i magnesi. En aquest nou estudi, es pot observar que hi ha les mateixes correlacions que en el primer, però cap d'aquestes variables es pot descartar, ja que en hi ha altres que depenen d'ella. També es demostra que es pot prosseguir amb l'anàlisi, ja que tots els coeficients de correlació són bastant baixos, menys de 0,85. Per la resolució dels "eigenvectors" de les mostres, s'ha dut a terme els càlculs proposats en els fonaments teòrics. L'espai original pot ser reduït a un format per diversos components principals, que descriuran percentatge de la variància de les mostres.

Si escollim 2 components principals descriurem gairebé un 70% de la variància, en canvi si escollim 3 descriurem un 80%. El model de Kaiser ens aconsella agafar el mateix numero de components que "eigenvalues" majors que 1, en aquest cas tres (Kaiser, 1991).

Un cop trobats els valors dels 3 "eigenvectors" que determinen el gairebé 80% de la variància, s'ha representat les tres zones per observar si es pot obtenir un resultat clar en la diferenciació de les aigües de les fonts del Montseny nord, est i oest. A l'hora de treure conclusions, en la Figura 1 s'ha observat que certs punts tenen una distància molt allunyada al centre, aquests podrien ser valors atípics o també anomenats "outliers".

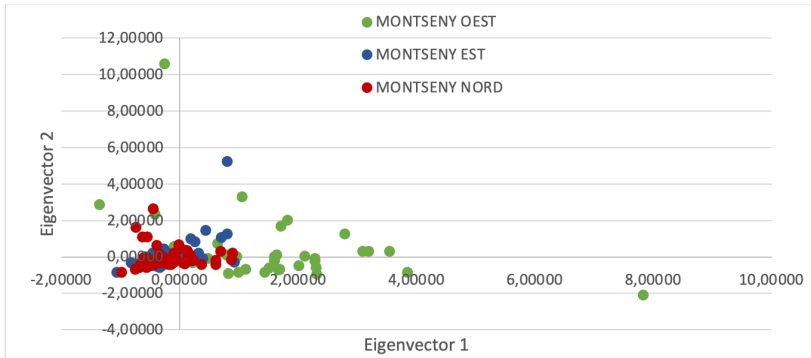


Figura 1. Representació gràfica de Eigenvector 1 versus Eigenvector 2.

Per descartar els valors atípics multivariants normalment es pot utilitzar mètodes més subjectius a partir de la disposició gràfica de les mostres. O es poden implementar mesures objectives, com la distància de Mahalanobis, que consisteix en una distància entre cada punt de les dades i el centre de massa de la dispersió. Quan un punt es troba en el centre de massa, la distància és igual a 0, com més llunyà es trobi el punt, més incrementarà el valor de la distància en qüestió. Per tant, els valors més allunyats són els que es consideren “outliers”.

La fórmula ens proporcionarà un nombre indicant la distància sobre el centre de masses. Però quin valor es pot considerar extrem? Assumint que el test estadístic segueix la distribució amb “n” graus de llibertat i com a nivell crític de significança, es calcularà la probabilitat que aquest valor sigui coherent segons el centre de massa del mostreig, valor entre 1 i 0,1 (Andrea, 2013).

Hi ha certes fonts que es considera que tenen valors atípics, ja que no superen la probabilitat mencionada de 0,1. Fonts atípiques del Montseny Oest són: Pinós, Femades, Muntanyà, Clavella, Forn, Terrades i Ferro; Fonts atípiques del Montseny Est són: Rovira i Sot de Coma. Al Montseny Nord sols es considera atípica la font de Mas Vidal.

Tercera anàlisi. Les fonts atípiques s'han eliminat de l'anàlisi per observar si millora la variància de les variables. Es determina quins són els "eigenvectors" i els components principals per diferenciar els tres grups de mostres: Nord, Oest i Est. Un cop eliminats les variables correlacionades i els valors atípics es procedeix a dur a terme la matriu de correlació. Prèviament s'han de calcular les noves mitjanes i desviacions típiques, i a partir dels resultats s'ha calculat la matriu de correlació.

Gràcies a la matriu de correlacions, s'ha dut a terme una anàlisi de dispersions entre variables, en que s'observa que és molt difícil marcar una tendència general entre totes elles. Es pot veure certes dispersions lineals entre variables com: la conductivitat i la duresa, i la conductivitat i el bicarbonat.

Es comprovarà també el test de Barlett i de KMO per si ha millorat per dur a terme l'anàlisi de PCA. El test d'esfericitat ha resultat 0 i el test de KMO supera els 0,5. Amb aquest resultat podem obtenir els "eigenvectors". Per a la determinació dels components principals, en primer lloc s'obtenen els valors propis de la matriu de correlacions, que coincidiran amb les variàncies dels diferents components centrals.

Per entendre quants components escollir s'ha d'utilitzar el mètode de Kaiser. Es pot observar que els únics "eigenvalues" que superen el 1, són els tres primer "eigenvectors", és a dir, hi haurà tres components principals.

Un cop decidit el nombre de components essencials a retenir, es construeixen els components fonamentals. El primer component principal (PC1) es compon de coeficients negatius per totes les variables menys l'altitud. El segon component principal (PC2) es compon de tots els coeficients positius menys les variables pH, altitud i sodi. El tercer component principal (PC3) és compost per les variables negatives menys els clorurs.

S'ha de determinar quin és el pes de cada variable en cada component principal, per posteriorment dur a terme una millor anàlisi de les variables predominants en la distinció dels grups.

El primer component principal està relacionat amb un gran nombre de variables, mentre que el segon i el tercer es troben definits únicament per una o dos. El primer component central consta de dos grups, 1: conductivitat i duresa, i 2: bicarbonat, clorur, sulfat, nitrat i potassi. El primer consta de dos variables, les correlacions de les quals amb el primer component principal superen els 0,9. El segon són variables que tenen un pes important, ja que superen una correlació del 0,5 (Grane, 1995), encara que no són les predominants. El primer grup de l'anàlisi determina en part la descripció de l'aigua, la conductivitat aborda tots els ions més importants i explica part de la qualitat d'aquesta. La mineralització, dissolució total de sòlids, s'identifica com l'estipulació d'efectes que causen els ions en l'aigua i és mesurada per la conductivitat. La duresa és un dels paràmetres més importants en la qualitat i la mineralització de les aigües, ja que proporciona informació sobre els ions divalents com calci, magnesi i/o ferro en aigües. En el segon grup es pot observar que tots aquests són ions relacionats amb la conductivitat i la duresa de les aigües, encara que també són fonamentals per la determinació de la qualitat d'aquesta. Les majors contribucions per el primer component principal són la duresa i conductivitat, que són les variables que expliquen més d'un 15% de la variància. Per altra banda, hi ha els nitrats, clorurs, sulfats i bicarbonats que expliquen més de un 10% de la variància i fa que tinguin una aportació important a la distinció dels grups d'aigües de les fonts del Montseny.

En el segon component principal, els coeficients de correlació són alts amb el pH. L'altitud té un coeficient de correlació major que els altres i també pot ser definit com un factor diferenciador en el "eigenvector" 2. El pH és un factor important en la qualitat de l'aigua, ja que fa que tinguin un equilibri constant entre els ions. L'altitud és un

paràmetre que s'estudia per observar si hi ha una relació directa amb la mineralització de les aigües.

Per últim es pot distingir el component tercer, que és relacionat directament amb el sodi. Aquest té un coeficient de correlació de més de 0,9. Ens indica que el sodi contribueix en un gran percentatge de la variància en el component 2. Aquest paràmetre és essencial per la determinació de la mineralogia de les aigües, ja que aquest ió es pot trobar naturalment en l'erosió de certs minerals o també pot significar una contaminació de l'aigua per diverses causes com filtració de la sal afegida per evitar glaçades les carreteres, contaminació a partir d'efluents d'aigües residuals o fins i tot infiltració de lixiviats de zones industrials.

A partir dels resultats es duu a terme una representació gràfica dels tres components principals. Com que són ortogonals, es poden representar com un gràfic tridimensional. Els resultats es mostren a les Figures 2 i 3.

En la Figura 2 es pot observar una clara distinció de dos grups. El primer grup format per les aigües del Montseny Oest, i el segon pel Montseny Nord i Montseny Est conjuntament. Per altra banda, amb l'observació del conjunt 3D de la Figura 3 es podria fer una distinció més clara dels tres grups, ja que el tercer component ajuda a la diferenciació del Montseny Est. Però, és suficient una valoració subjectiva de la separació dels tres grups en un gràfic? Per confirmar aquesta distinció objectiva, es porta a terme l'anàlisi de clústers.

3.2. Anàlisi jeràrquica de clústers

La principal funció és confirmar que hi ha diferències significatives per demostrar que els tres grups prèviament marcats (Oest, Est i Nord) contenen aigües diferents. El procediment s'ha dut a terme amb programació R i estadístic SPSS. Per a la selecció del nombre de clústers s'ha de calcular quin seria el nombre òptim d'agrupacions que es poden calcular per un conjunt de mostres. Aquest estudi consta de 214 mostres,

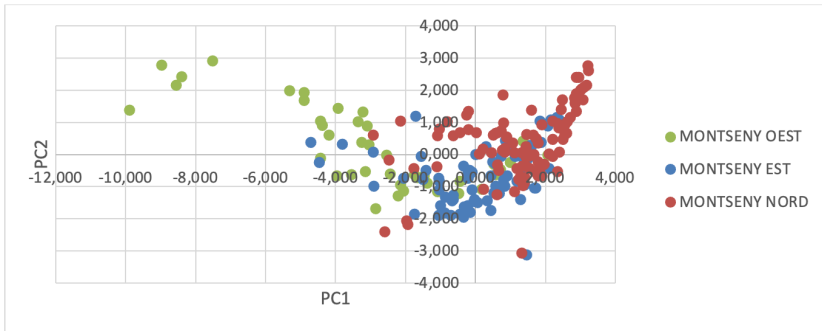


Figura 2. Representació gràfica dels dos primers components principals.

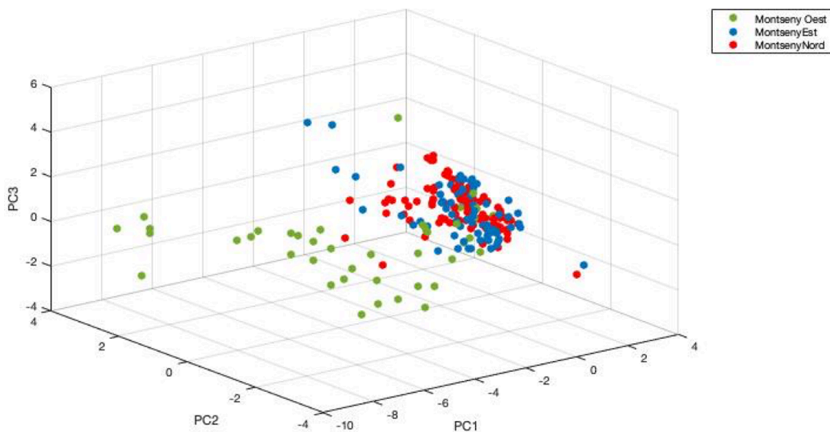


Figura 3. Representació tridimensional dels tres components principals.

ja que s'han eliminat els valors atípics. Per a dur a terme l'agrupació es realitza una matriu de distàncies euclidianes, on es pot analitzar les distàncies entre els diferents punts. A partir de la taula, es realitza una classificació de les mostres amb el mètode de Ward, un dels mètodes més utilitzats i el que transmet més informació per aquest tipus de mostratge. Per trobar el numero de clústers a analitzar, s'ha de definir quina és la

taxa de variació dels coeficients de conglomeració. Aquest reflexa la distància en la que els grups estaven fusionats en cada etapa. Al representar els coeficients en funció de les etapes, es pot observar una corba que té un punt d'inflexió, el qual es pot associar amb el número d'etapes òptimes.

A partir de la determinació del nombre de clústers, es procedeix a la creació del dendrograma jeràrquic. Amb els resultats obtinguts es mostra les mateixes agrupacions que en les representacions fetes en les anàlisis de components principals, mitjançant els tres "eigenvectors". S'observa que hi ha tres clústers que es poden diferenciar. L'anàlisi de clústers és un tractament estadístic que explica el 100% de tota la variància, la qual ara amb els errors que es poden mostrar la variància baixa fins a un 75% i gairebé coincideix amb l'específica dels components principals.

4. Discussió

Com s'ha determinat amb les anteriors anàlisis (PCA i clústers) es pot argumentar estadísticament, amb un 80% de confiança, que hi ha tres zones geogràfiques al Montseny amb diferències hidro-mineralògiques significatives: nord, oest i est. S'analitzarà, depenent de la geologia de la zona i els aqüífers protegits, quins són els paràmetres que presenten una denotació important, en comparació a les altres zones. Gràcies a les mitjanes aritmètiques, es podrà comparar quins són els paràmetres de cada zona que tenen un nivell més elevat. Els que manifesten diferències significatives són: conductivitat, bicarbonat, clorurs, sulfats, nitrats i la duresa (calci i magnesi), tal com mostra l'anàlisi de components principals dut a terme prèviament. El qual constata, que la diferenciació del Montseny Oest de les altres zones era pel "eigenvector" 1.

4.1. Montseny Oest

Les aigües de les fonts del Montseny Oest tenen una diferenciació molt marcada respecte alguns paràmetres analítics. Els factors que condicionen aquestes aigües poden ser la composició química de la font on es produeix la descàrrega, o els relacionats amb la litologia de la zona en que ha estat transportada subterràniament l'aigua. Els paràmetres que s'han de caracteritzar són descrits a continuació.

La duresa de l'aigua és afectada per diversos motius, un d'ells la presència de pedres calcàries en la zona de drenatge o del recorregut de l'aigua. La geologia de la zona del Montseny Oest, consta de pedres calcàries que aporten una gran quantitat en dissolució de Carbonat de Calci (CaCO_3), associat directament a la duresa. Aquestes aigües es poden considerar dures, amb valor mitjà de $34,96^\circ\text{F}$.

El Real Decreto 140/2003 no consta que cap de les quantitats de calci i magnesi a les aigües sigui considerable com a maliciosa per la salut, sinó com un indicador d'altres quantitats.

El contingut de clorurs és donat per abocaments industrials, per l'abocament de sal de descongelació, o pel pas per roques ígnies. A l'oest el contingut de clorurs no arriba al límit indicador de 250 mg/L, però és més elevat que les altres dues zones analitzades. La concentració és més alta per la circulació per minerals magmàtics amb alt contingut de clorites.

La presència de roques carbonatades en tot el Montseny, deguda a la transgressió marina que va tenir lloc al Paleozoic, indica una presència d'altres quantitats de bicarbonat. No és un paràmetre que es consideri nociu pel consum humà, no hi ha quantitat màxima.

Un dels paràmetres més importants en l'anàlisi fisicoquímica de les aigües és la quantitat de nitrats, ja que segons el RD 140/2003 no pot ser superior de 50 mg/L per ser apte per consum humà. De forma natural els nitrats apareixen a l'aigua de les fonts per la dissolució de les roques que els contenen o per l'oxidació bacteriana de la matèria orgànica

vegetal que existeix en el sòl. Es considera que fins a 10 mg/L els nitrats poden ser d'origen natural, però a partir d'aquesta quantitat aquests provenen de l'ús excessiu de fertilitzants d'agricultura o d'aigües residuals (Farrerons, Prat, 2017) . El Montseny Oest consta de mitjana de més de 25 mg/L de nitrats en les seves aigües. Aquesta quantitat de nitrats és deguda a l'excés de fertilitzants i/o purins en el sòl, que perjudiquen les aigües. L'aigua està en uns nivells legals de nitrat pel seu consum humà, encara que s'haurien d'analitzar més paràmetres químics per obtenir una conclusió de potabilitat.

El contingut de sulfats en aigües no és representat com un valor perjudicial per les persones, encara que com indicador es pot presentar en 250 mg/L. Les aigües del Montseny oest no presenten aquest elevat valor, però si que tenen una quantia molt diferenciada a les altres zones del Montseny. Gran part dels sulfats provenen de l'oxidació de matèria orgànica. Actualment, a la comarca d'Osona, molts dels fertilitzants usats són purins, els quals contenen gran quantitat de nitrats. Aquests, patint una desnitrificació, que pot ser produïda per l'oxidació de pirites i/o de matèria orgànica, poden augmentar la concentració de sulfats en aigües (Vitòria, 2003).

El valor paramètric de la conductivitat segons el RD 140/2003 pel consum humà de l'aigua és de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'elevada conductivitat està lligada a l'alta quantitat de bicarbonats i calci, ja que són dos paràmetres que presenten nivells elevats en el Montseny Oest. Per altra banda, no es supera el valor indicador.

En el Montseny Oest les fonts poden classificar-se de bicarbonatades i càlciques, amb concentracions mitges que superen els 90 mg/L i 20 mg/L, respectivament (Farrerons, Olmedo, 2017).

4.2. Montseny Nord

Les aigües de les fonts del Montseny Nord es distingeixen del Montseny Est a partir d'una combinació entre els "eigenvectors" 2 i 3. Els paràmetres que s'associen més a aquests components principals són: pH, altitud i sodi.

Es pot argumentar que l'increment de mineralització en les aigües es produeix a partir que disminuïm la cota de drenatge, és a dir, com més altitud menys mineralització. Així s'observa en el Montseny Nord en comparació del Montseny Est i Oest, ja que la cota mitjana de recollida de les mostres és molt més alta que a les altres zones del massís.

Les aigües de les fonts del Montseny Nord, degut a l'altitud del seu drenatge, tenen una mineralització més dèbil que les altres zones, tot i així es poden definir com lleugerament bicarbonatades i càlciques. Les aigües de la zona de Viladrau tenen baixos nivells de nitrats, segurament perquè només s'utilitza el 5% de la superfície del terme municipal per conreu i ramaderia. Es pot preveure que, de seguir així, no hi haurà problemes d'excés de nitrats.

4.3. Montseny Est

Les aigües de les fonts del Montseny Est són una mica més mineralitzades que les del Nord, gràcies a que el drenatge de les fonts està situat a menys altitud. Es consideren aigües mitjanament bicarbonatades i càlciques. El contingut de nitrats està, en gran mesura, entorn als límits naturals, i es considera que no hi haurà problemes pel consum humà en el futur degut als nitrats. Un altre paràmetre que marca la diferència de les zones és el sodi. Aquest pot ser present en diferents minerals com el feldspat. El contingut més elevat de sodi del Montseny Est pot ser degut a que la meteorització d'aquesta roca es produeix de manera natural en la part inferior a la Riera d'Arbúcies.

5. Conclusions

S'han trobat diferències de les zones estudiades del Montseny gràcies als tractaments estadístics i al codi creat. Les anàlisis multivariables proposades han pogut determinar diferències hidro-mineralògiques en les aigües de les fonts per cada zona del Montseny i s'ha pogut comprovar que la zones geogràfiques desenvolupades pel "Projecte Fonts del Montseny" han estat seleccionades correctament en diferenciar nord, est i oest.

Gràcies a les anàlisis de components principals i de clústers s'ha justificat quins dels paràmetres analitzats són els diferenciadors de cada zona. Els paràmetres en la discussió han estat relacionats amb la geologia, la ramaderia, l'agricultura i la industrialització de cada zona en qüestió. Un dels valors que s'ha tingut en compte per especificar una bona qualitat d'aigua són els nitrats, els quals segons el Real Decret 140/2003 presenten una limitació màxima controlada.

Amb els resultats obtinguts s'ha determinat que la zona del Montseny oest té una mineralització alta degut a la gran quantitat de roca calcària present. Aquesta zona compta amb aigües bicarbonatades i càlciques d'alts continguts minerals. Un factor important contrastat és la importància de l'agricultura i la ramaderia en aquesta àrea, el que provoca que els nivells de nitrats siguin elevats i preocupants en un futur.

Les zones est i nord del Montseny són d'aigües de mineralogia dèbil tot i que lleugerament bicarbonatades i càlciques. La seva diferenciació ha estat realitzada per l'altitud de les mostres.

Referències

- ANDREA, J.; & GARCÍA, M. (2013). Técnicas para detección de outliers multivariantes. *Revista en Telecomunicaciones e Informática*, 3(5), 11-25.
- CAMP TORRES, N. (Autora); FARRERONS VIDAL, O (director); & LALUEZA BARO, J. (codirectora) (2020). *Estudi teòric i evidència empírica de la químicominerologia de les aigües de les fonts del Montseny sud, i comparativa amb el que succeeix a les fonts del Montseny nord, est i oest*. Disponible a: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/329725>
- CORNISH, R. (2007). Statistics: 3. 1 Cluster Analysis Hierarchical agglomerative methods. *Analysis*, 1-5.
- FARRERONS VIDAL, O.; & OLMEDO TORRE, N. (2017). Características Minerales de las aguas del Montseny. Aguas de baja mineralización ligeramente bicarbonatadas y cálcicas. *UPCommons*, p. 26-27. Disponible a: <http://hdl.handle.net/2117/106394>
- FARRERONS, Ò.; & PRAT, F. (2017). Análisis de parámetros fisicoquímicos de aguas de 100 fuentes naturales del Montseny Norte. *Tecnoaqua*. 36-45.
- GRANE, A. (1995). Análisis en componentes principales. A: II Seminario de Capacitación de docentes. http://www.est.uc3m.es/agrane/ficheros_docencia/MULTIVARIANT/slides_comp_reducido.pdf
- HERRERA MURILLO, J. et al. (2009). Aplicación de técnicas quimiométricas para clasificar la calidad de agua superficial de la microcuenca del río Bermúdez en Heredia, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 22(4), 75-85. ISSN 0379-3962.
- KAISER, H.F. (1991). Coefficient Alpha for a Principal Component and the Kaiser-Guttman Rule. *Psychological Reports*, 68(3), 855-858. <https://doi.org/10.2466/pr0.1991.68.3.855>
- MINISTERIO DE PRESIDENCIA. GOBIERNO DE ESPAÑA. “REAL DECRETO 140/2003, de 7 de febrero (2003). Por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.” Madrid, 2003. <http://www.boe.es/boe/dias/2003/02/21/pdfs/A07228-07245.pdf>
- ROWNTREE, D. (1984). *Introducción a la estadística: un enfoque no matemático*, núm. 0, p. 2. <http://academia.utp.edu.co/seminario-investigacion-II/files/2017/03/06a.AnálisisDeCorrelaciones.pdf>
- VITÒRIA, L.; SOLER, A.; & ÀVILA, A. (2003). L'ús de la isotopia del N per determinar l'origen de la contaminació per nitrats en les aigües subterrànies a Osona (Catalunya). *Orsis: organismes i sistemes*, 18(3), 29-38. ISSN 2014-9727.

Anàlisi del Compromís dels Països de la Conca Mediterrània amb l'Objectiu del 1.5° C de l'Acord de París

Bàrbara Sureda

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

Olga Alcaraz

EEBE. Departament de Física (UPC)

Resum

El present treball ha estat desenvolupat pel Grup sobre Governament del Canvi Climàtic de la UPC (GGCC), que és un subgrup del Grup de recerca en Sostenibilitat, Tecnologia i Humanisme.

Aquest estudi pretén analitzar els països de la conca Mediterrània per veure si estan o no en línia amb l'objectiu de 1.5 °C pres a l'Acord de París. Per fer-ho s'han comparat les emissions acumulades de les actuals Contribucions Determinades a Nivell Nacional (NDCs) dels països fins al 2030, amb el resultat obtingut del repartiment de les emissions acumulades de gasos d'efecte hivernacle compatible amb l'escenari de mitigació global dels 1.5 °C, entre 2018 i 2100. El càlcul del repartiment de les emissions acumulades s'ha fet amb el Model de Justícia Climàtica desenvolupat pel GGCC.

De l'anàlisi fet es conclou que el compromís del conjunt de països de la conca Mediterrània no està en línia amb l'objectiu de 1.5 °C, ja que a l'any 2030 s'haurà emès el 77% del pressupost d'emissions que estaria disponible fins 2100.

Abstract

The present work has been developed by the UPC Group on the Governance of Climate Change (GGCC), which is a subgroup of the Research Group on Sustainability, Technology and Humanism.

This study aims to analyse the countries of the Mediterranean basin to see if they are in line with the 1.5 °C goal taken in the Paris Agreement. To do so, the cumulative emissions of the current NDCs of the countries up to 2030 have been compared, with the result obtained from the distribution of the cumulative emissions of greenhouse gases compatible with the global mitigation scenario of 1.5 °C, between 2018 and 2100. The distribution of the cumulative emissions has been done with the Climate Justice Model developed by the GGCC.

From the analysis made, it is concluded that the commitment of the countries of the Mediterranean basin is not in line with the goal of 1.5 °C, since in 2030 77% of the budget of emissions that would be available until 2100 will be emitted.

1. Introducció

La conca de la Mediterrània constitueix una unitat geogràfica i climàtica que s'estén al llarg de tres continents i que és especialment sensible als efectes adversos del canvi climàtic, entre els quals podem destacar:

- L'augment de la temperatura anual mitjana en superfície, la qual és superior a l'augment observat a nivell global, ja s'han superat els 1.4 °C respecte a la temperatura del període preindustrial (1880-1899).
- L'augment en la freqüència de les onades de calor.
- L'augment en la intensitat i freqüència de les sequeres.

Aquests efectes comporten riscos, els quals seran menors en un escenari de 1.5 °C que no en un escenari de 2 °C.

Tot i tenir una tradició cultural comuna, els països de la conca Mediterrània presenten una important diversitat socioeconòmica. Pel que fa a nivell d'ingressos, només Síria està classificat pel World Bank (2000) com país de baixos ingressos (Low income country); Egipte, Algèria i Marroc son països d'ingressos mitjans baixos (Lower middle income countries); Albània, Bòsnia i Hercegovina, Liban, Líbia, Montenegro i Turquia son països d'ingressos mitjans alts (Upper middle income

countries); i els 10 restants, Croàcia, Xipre, France, Grècia, Israel, Itàlia, Malta, Mònaco, Eslovènia i Espanya son països d'alts ingressos (High income countries).

L'Acord de París (AP) és l'acord sota el qual, a l'actualitat, es desenvolupa la política global contra el canvi climàtic. L'Acord deixa en mans dels països membres l'elaboració dels seus compromisos de mitigació, els quals s'anomenen Contribucions Determinades Nacionalment (NDC). Durant el 2020, les parts de l'AP han de comunicar o actualitzar els seus compromisos, i seria fonamental que ho fessin amb vista a assolir l'objectiu global dels 1.5 °C, i amb una visió d'equitat mundial. A més, és important que es pugui mesurar la justícia i ambició d'aquestes contribucions.

2. Model de justícia climàtica

Un aspecte clau a tenir en compte és com es reparteixen les futures emissions de gasos d'efecte hivernacle entre els països per conduir a assolir l'objectiu de temperatura de l'AP. Dins la literatura podem trobar varis models que fan aquest repartiment. Dins el GGCC hem desenvolupat un model, el Model de Justícia Climàtica (MCJ), que distribueix les emissions globals utilitzant els criteris d'igualtat i responsabilitat tenint en compte la diferent responsabilitat històrica de cada país.

El model assigna més emissions a aquells països que històricament han estat per sota de la mitjana mundial i penalitza els que han estat per sobre.

3. Metodologia

S'ha utilitzat el Model de Justícia Climàtica (MCJ) per determinar les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GHG) acumulades per al període 2018-2100 que correspondrien a cada un dels països estudiats,

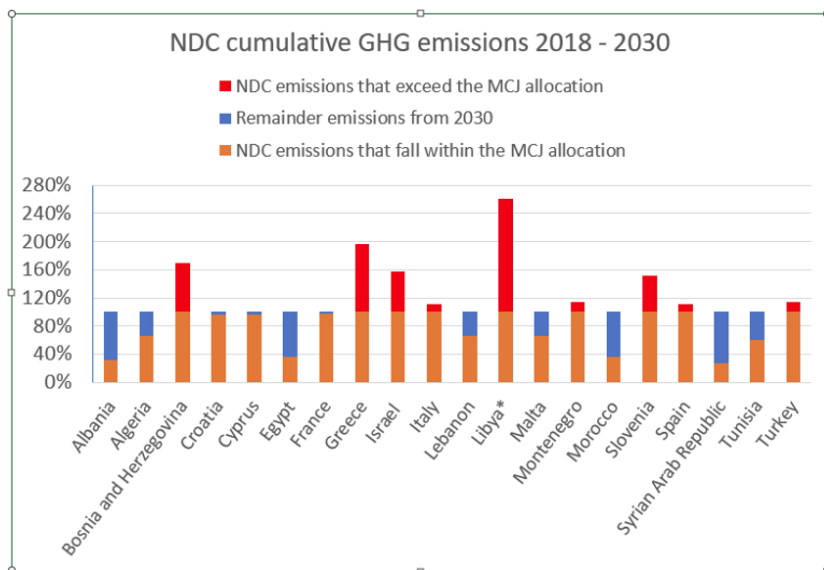
compatibles amb el compliment d'un escenari d'increment de la temperatura global de 1.5 °C respecte a la temperatura preindustrial.

S'ha fet un buidat de totes les NDCs dels països analitzats, considerant els objectius de mitigació incondicional. S'han analitzat els compromisos per al conjunt de GHG de cada un dels països.

El resultat del MCJ per a cada país per al període (2018-2100) es compara amb les emissions acumulades que implica la seva NDC en el període (2018-2030).

4. Resultats

Quan es comparen les emissions acumulades que d'acord amb les seves NDCs els països de la Mediterrània hauran llançat a l'atmosfera el 2030 amb el pressupost d'emissions que el MCJ els assigna en el període



*Libia no ha presentat la seva NDC i es fa una previsió en base a un escenari tendencial

Figura 1. Emissions acumulades GHG segons les NDCs.

(2018-2100), es constata que hi ha països que ja en 2030 sobrepassen la totalitat del pressupost assignat pel MCJ, mentre que n'hi ha que es queden per sota.

A la Figura 1 s'observa el percentatge d'emissions acumulades que segons les NDCs s'hauran llançat a l'atmosfera el 2030 (barres taronja + vermella) respecte a les emissions assignades pel MCJ per al període 2018-2100. La barra taronja indica el percentatge que cau dins de l'adjudicat i la vermella el excedit. La barra blava indica el percentatge que quedaria disponible als països a partir de 2030.

La Figura 1 permet definir tres grans grups de països:

- Països que el 2030 hauran consumit menys de el 40% del pressupost d'emissions que el MCJ se'ls adjudica. Entre els quals es troben Síria, Marroc, Egipte i Albània. Les contribucions d'aquests països estan en la línia de l'objectiu global de l'1.5 °C.
- Països que el 2030 hauran esgotat entre el 40% i 100% del pressupost. Entre els quals trobem Croàcia, França, Xipre, Malta, Algèria, Líban i Tunísia.
- Països que el 2030 hauran emès per sobre del pressupost d'emissions assignat pel MCJ fins a final de segle: Grècia, Itàlia, Eslovènia, Espanya, Bòsnia i Herzegovina, Montenegro, Israel, Turquia i Líbia.

5. Conclusions

En el seu conjunt, els països de la Mediterrània hauran consumit en 2030 el 77% del pressupost d'emissions assignat pel MCJ. Això allunya els països de la conca Mediterrània de l'objectiu dels 1.5 °C, objectiu de gran importància per a la supervivència dels ecosistemes d'aquesta regió geogràfica i de l'estil de vida dels seus assentaments humans.

El camí de recuperació econòmica post-COVID que s'emprengui a partir d'ara és crucial, pot convertir la reducció d'emissions global que

s'espera en un fet merament circumstancial o bé servir per orientar el futur en direcció a l'objectiu de l'1.5 °C que estableix l'Acord de París.

Referències

- ALCARAZ, O.; BUENESTADO, P.; ESCRIBANO, B.; SUREDA, B.; TURON, A.; & XERCAVINS, J. (2018). Distributing the Global Carbon Budget with climate justice criteria. *Climatic Change*, 149, 131-145. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2224-0>
- ALCARAZ, O.; BUENESTADO, P.; ESCRIBANO, B.; SUREDA, B.; TURON, A.; & XERCAVINS, J. (2019). The global carbon budget and the Paris agreement. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*. 11(3), 310-325. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-06-2017-0127>
- MEDECC NETWORK (2019). Risks associated to climate and environmental changes in the Mediterranean region. <https://www.medecc.org/medecc-booklet-isk-associated-to-climate-and-environmental-changes-in-the-mediterranean-region/>

Experiencias de Aprendizaje Activo en Ingeniería Gráfica

Noelia Olmedo-Torre

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

Marta Peña

Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona.
Departament de Matemàtiques (UPC)

Rosó Baltà

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

Resumen

En este estudio longitudinal y cuantitativo describimos diferentes actividades de aprendizaje activo (*Flipped Classroom*, *Design Thinking*, *Visual Thinking* y *Project Based Learning*) desarrolladas desde 2015 a 2018 en la asignatura obligatoria de Expresión Gráfica que se imparte durante el primer curso de todas las titulaciones. de la Escola d'Enginyeria de Barcelona Est de la Universitat Politècnica de Catalunya - UPC BarcelonaTech.

La introducción de metodologías de enseñanza de aprendizaje activo para la resolución de problemas con Diseño Asistido por Ordenador a lo largo del curso, con una complejidad creciente de realización de ejercicios, ha supuesto una mejora significativa en los resultados académicos de los estudiantes de esta asignatura. *Project Based Learning* es la metodología más apreciada por los estudiantes ya que les permite integrar todas las habilidades y conocimientos adquiridos a lo largo del curso y es también la actividad en la que obtienen mejores calificaciones.

Abstract

In this longitudinal and quantitative study we describe different active learning activities (Flipped Classroom, Design Thinking, Visual Thinking and Project Based Learning) developed from 2015 to 2018 in the compulsory subject of Graphic Expression taught during the first year of all degrees from the Escola d'Enginyeria de Barcelona Est of the Polytechnic University of Catalunya - UPC BarcelonaTech.

The introduction of active learning teaching methodologies for solving problems with Computer-Aided Design throughout the course, with increasing complexity in carrying out exercises, has led to a significant improvement in the academic results of the students of this subject. Project Based Learning is the methodology most appreciated by students since it allows them to integrate all the skills and knowledge acquired throughout the course and is also the activity in which they obtain the best grades.

1. Introducción

La elección de actividades de aprendizaje dentro y fuera del aula tiene en cuenta varios componentes descritos por Johnson (Johnson, 2014) donde el alumnado debe ser capaz de afrontar problemas en los que debe estructurar su pensamiento y esforzarse (siempre con la ayuda del profesorado) para encontrar soluciones prácticas. Estos componentes son: el escenario de aplicación, el trabajo en grupo, la resolución de problemas, el descubrimiento de nuevos conocimientos y finalmente, la aplicación al mundo laboral. La decisión de incorporar metodologías activas busca generar cambios significativos dentro y fuera del aula y dejar de lado la formación tradicional de tal manera que se mejore el aprendizaje al brindar herramientas que generen espacios de reflexión sobre lo aprendido, pero sobre todo ayudar al alumnado a comprender conceptos abstractos y complejos.

Con la aplicación de la metodología *Flipped Classroom* (FC), se busca un proceso de aprendizaje a través de la instrucción individual directa basada en ordenadores con actividades dentro y fuera de clase. La

aplicación de la metodología *Design Thinking* (DT) busca un proceso útil para la resolución creativa de piezas en ingeniería gráfica. Es esencial para problemas poco definidos o complicados y para analizar un problema y su contexto y reinterpretarlo para encontrar una solución. *Visual Thinking* (VT) permite la formación de modelos mentales y la creación de imágenes en el espacio que luego se pueden transferir al papel. Finalmente, *Project Based Learning* (PBL) se utiliza como facilitador en la integración de los resultados del aprendizaje de las otras metodologías a través de la satisfacción en la construcción de un proyecto de ingeniería. El objetivo es promover la implementación y organización del trabajo en equipo, el establecimiento de roles de liderazgo y la integración del alumnado en proyectos multidisciplinares.

Existen numerosos estudios que apoyan los efectos positivos del aprendizaje activo en la mejora de la motivación y las actitudes del grupo de clase y son prácticas avaladas empíricamente en la enseñanza regular (Boude, 2010), pero solo se pueden adquirir a través de la participación, motivación, atención y trabajo constante de la clase (Del Canto, 2011). Los beneficios del aprendizaje activo están bien documentados y probados, tanto en el aprendizaje general como en la reducción de las brechas en las calificaciones, el rendimiento y las tasas de fracaso (Borda 2020). Estas prácticas dan lugar a un trabajo motivador que estimula el pensamiento creativo e innovador, potencia su autonomía y facilita el aprendizaje de las competencias transversales y profesionales. En estas prácticas, el alumnado aprende construyendo nuevas ideas o conceptos basados en sus conocimientos actuales y previos y están motivados para tomar un papel activo en la planificación de su propio aprendizaje (Brown 2008).

1.1. Preguntas de investigación

Teniendo en cuenta las características didácticas de esta propuesta, mediante el desarrollo de un enfoque de aprendizaje activo basado en

evidencias que permita una mejor comprensión por parte del estudiantado, nos planteamos las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuál es el efecto de implementar diferentes estrategias de instrucción en su rendimiento?
- ¿Hasta qué punto las estrategias de instrucción mejoran la satisfacción del alumnado?

Este trabajo será de utilidad para aquellos/as docentes e investigadores/as que quieran reforzar el aprendizaje del grupo de clase aplicando diferentes metodologías activas con el objetivo de lograr mejores resultados académicos y promover el pensamiento creativo e innovador. Esta investigación tiene como objetivo llenar los vacíos existentes en la aplicación de técnicas de aprendizaje activo en las prácticas y laboratorios de asignaturas del campo de la ingeniería gráfica y mejorar el proceso de aprendizaje en el desarrollo de las actividades docentes.

2. Metodología

2.1. Contexto del estudio

Este trabajo presenta un estudio longitudinal y cuantitativo de innovación educativa donde se han aplicado cuatro estrategias de aprendizaje activo (FC, DT, VT y PBL), dentro y fuera del aula, en la asignatura troncal de Expresión Gráfica (EG). Esta experiencia se ha implementado durante cuatro cursos académicos a varios grupos de clase desde el primer cuatrimestre de 2015 hasta el segundo cuatrimestre de 2018. Cada cuatrimestre se imparte de febrero a mayo y de septiembre a diciembre (entre 13 y 14 sesiones cada cuatrimestre). Han participado en esta experiencia un total de 11 grupos de 30 alumnos/as por clase (un total de 330). En las sesiones (una sesión es una semana) se planifican diferentes actividades para lograr la adquisición de los objetivos de aprendizaje de la asignatura.

Esta asignatura obligatoria tiene seis créditos ETCS y se imparte durante el primer y segundo cuatrimestre a aproximadamente 700 estudiantes por curso. Los grupos de clase, 24 en total, están formados por 30 personas en sesiones de mañana (M) o de tarde (I) y se imparte en todos los grados (Eléctrica, Mecánica, Química, Electrónica Industrial, Biomédica, Energía y Materiales) en la Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC BarcelonaTech).

El enfoque metodológico desarrollado en esta investigación se basa en el uso de instrumentos para recolectar y analizar las calificaciones obtenidas utilizando las diferentes metodologías activas descritas en este manuscrito.

La evaluación de la asignatura consta de siete pruebas establecidas en las semanas 5, 9, 10 y 14 del cuatrimestre. Dos de estas pruebas son teóricas (TTN y TTG), tres prácticas (DAO1, DAO2 y DAO3), una basada en habilidades espaciales (PCA) y una entrega final de un proyecto grupal (Proy).

La nota final de la asignatura se calcula según la siguiente fórmula:

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

2.2. Resumen de las metodologías empleadas

La Tabla 1 muestra un resumen de la aplicación de las diferentes metodologías de aprendizaje tanto en el aula como fuera de ella. Se muestra la relación de los objetivos de aprendizaje propuestos, las actividades a realizar, el alcance, el lugar donde se realizan estas actividades, los recursos de que disponen, la retroalimentación esperada, así como las diferentes evidencias y evaluaciones.

Flipped Classroom	
Objetivos	Fomentar el autoaprendizaje de los contenidos teóricos y la responsabilidad individual. Facilitar la resolución de piezas, comprensión de las normas y ejecución del proyecto.
Actividad	Prueba de autoevaluación teórica (EP).
Alcance	Fomenta la comprensión de las normas para la fabricación de piezas y la ejecución del proyecto.
Aplicación	En el aula / Fuera del aula. Ejecución individual.
Recursos	Bibliografía, material multimedia en el Campus virtual y actividades dirigidas.
Feedback	Corrección automática. El alumnado es responsable de encontrar las respuestas correctas.
Evidencias /Evaluación	10 pruebas de autoevaluación por Atenea. (TTN y TTG).

Design Thinking	
Objetivos	Modelado en 3D y elaboración de planos a partir de proyección axonométrica. Aplicar técnicas de representación de la geometría espacial.
Actividad	Prueba de autoevaluación teórica (EP).
Alcance	Ejercicios + Aprendizaje basado en ejemplos (tutoriales). (EE).
Aplicación	Fomenta la realización del proyecto y la comprensión de temas no tratados en clase.
Recursos	Ejercicios semanales, tutoriales multimedia, videos explicativos, presentaciones con resolución paso a paso.
Feedback	Semanalmente y en horario de clase. La corrección debe realizarse una semana después de la presentación. Ejercicios aprobados cuando los profesores aseguran que se ha alcanzado el último paso de la tutoría.
Evidencias /Evaluación	Resolución de ejercicios de forma individual y en grupo. 12 tutoriales basados en ejemplos. (CAD1, CAD2 y CAD3).

Visual Thinking	
Objetivos	Fomentar la formación de modelos mentales analizando el espacio que nos rodea.
Actividad	Ejercicios de dibujo.
Alcance	Fomenta la exploración del espacio de diseño creativo y elabora mapas mentales de proyección de los tres planos.
Aplicación	Fuera del aula. Ejecución individual.
Recursos	Libro de croquis de dibujos a mano alzada.
Feedback	Semanalmente y en horario de clase.
Evidencias /Evaluación	Resolución de 20 ejercicios. (PCA).

Project Based Learning	
Objetivos	Aplicar todas las competencias de la asignatura. (específicas y genéricas).
Actividad	Proyecto.
Alcance	Fomenta el trabajo en grupo y el desarrollo de competencias de aprendizaje autónomo.
Aplicación	En clase / Fuera de clase. Ejecución en grupo de 3-4 personas.
Recursos	Todo el material disponible en el campus virtual y creado durante el curso.
Feedback	Cada dos semanas. Retroalimentación inmediata.
Evidencias /Evaluación	Ejecución de un proyecto de ingeniería. Entrega y defensa pública de un proyecto. (Proy).

Tabla 1. Resumen de las metodologías de aprendizaje activo en la asignatura EG.

2.3. Encuesta de satisfacción del alumnado

Para determinar la opinión del alumnado sobre su satisfacción con la asignatura y la aplicación de las diferentes experiencias de aprendizaje activo, al final de cada curso académico se realizó una encuesta anónima estadístico-descriptiva online con Google Forms®.

El objetivo de la encuesta es verificar si las metodologías de aprendizaje activas utilizadas y la incorporación de prácticas docentes esenciales han facilitado la adquisición de los objetivos de aprendizaje de la asignatura EG mediante el análisis de la percepción del alumnado. Los datos recopilados servirán para mejorar las estrategias implementadas en las experiencias de aprendizaje activo aplicadas (Victoria, 2010).

La encuesta, que fue contestada voluntariamente, se realiza el último día de clase. Los resultados obtenidos se procesaron mediante el programa estadístico IBM SPSS v19 Solutions for Education® donde se analizaron las variables obtenidas mediante frecuencias estadísticas descriptivas para determinar los porcentajes de uso de las variables.

3. Resultados y discusión

En relación a los resultados obtenidos respecto a la aplicación de FC, ésta ha supuesto una reducción de la carga de trabajo docente asociada al tiempo de preparación y entrega de la clase, conclusión que coincide con Rhaman (2016). Su uso puede variar en la preparación de las clases, la capacidad de razonamiento o las habilidades de aprendizaje autodirigido. Reducir la enseñanza presencial le da al docente más tiempo para la interacción individual. De esta manera, el profesorado adquiere una mejor comprensión de los problemas y repara en los conceptos erróneos de los estudiantes. Algunos investigadores informaron que el enfoque del aula invertida mejoró la capacidad académica y el rendimiento de los participantes. Se pueden extraer varios puntos en común con otros autores en la aplicación de esta metodología, por ejemplo, la introducción de contenidos de forma anticipada, la implicación y motivación

de profesorado y alumnado y la introducción y planificación de actividades de aprendizaje cooperativo.

En cuanto a la aplicación de la metodología DT, se destaca la importancia del aspecto visual en el aprendizaje del alumnado. Aprovechan los ejercicios recomendados para descubrir ideas y desarrollarlas de forma rápida e intuitiva. Se percibe que este es el entorno donde mejor se desarrolla su experiencia de aprendizaje con un alto nivel de motivación en la realización de las tareas asignadas, y responden a ellas con gran interés. De la misma forma que se manifiesta en la experiencia de Levine (2014) donde el alumnado apreció la incorporación del proceso de pensamiento de diseño a lo largo del curso. Una posible interpretación es que los estudiantes que exhiben mayor rendimiento académico alcanzaron estos niveles porque habían utilizado espontáneamente estas estrategias durante sus anteriores estudios académicos y obtuvieron un mejor rendimiento al aprender de forma independiente y adaptarse a entornos cambiantes.

Sobre la aplicación de la metodología VT, la realización de croquis a mano alzada para el modelado de sólidos es ideal para introducir el dibujo en los planes de estudio de las asignaturas de primer año en las carreras de ingeniería y sirve como complemento al desarrollo de asignaturas que incorporan diseño en los siguientes cursos. La aplicación de esta metodología de aprendizaje activo asegura que el alumnado desarrolle e interiorice buenas prácticas de diseño con impacto en el proceso de diseño de un producto. Además, ayuda a comprender la realización de piezas al utilizar software de modelado de sólidos y permite hacer más accesibles las ideas complejas y resumirlas en ideas principales. El alumnado aprende a representar las especificaciones técnicas para la fabricación de un producto mostrando en el croquis las medidas reales del objeto, detalles y especificaciones de fabricación. Además, le permite pensar de manera diferente, ser más observador, aumentar la creatividad y les ayuda a comunicarse de manera más efectiva.

En relación a la aplicación de la metodología PBL, ésta permite impulsar la evaluación de la competencia genérica de aprendizaje autónomo (asignada para la asignatura, junto con las específicas) y las habilidades y aptitudes transversales (organización y planificación, trabajo en equipo, liderazgo, etc.). Se han fomentado las habilidades y conocimientos que el alumnado posee o ha aprendido previamente y se han buscado soluciones a problemas no definidos. La aplicación de la metodología PBL ha fomentado la práctica del pensamiento crítico y generado procesos de autorreflexión sobre el propio aprendizaje. La calidad mostrada, el alto nivel de complejidad y las altas calificaciones finales de los proyectos realizados nos hacen percibir que el alumnado ha desarrollado plenamente esta competencia. El proyecto se lleva a cabo completamente fuera del horario de clases y el grupo ha aplicado en el proyecto todos los conocimientos adquiridos durante el curso. También han aprendido a trabajar en colaboración con el resto del grupo para encontrar soluciones a problemas de la vida real.

Los resultados de la encuesta de satisfacción hacen percibir que la incorporación de diferentes metodologías de aprendizaje activo permite mejorar los resultados académicos y la satisfacción, así como la reducción de la carga de trabajo semanal asignada. También permite mejorar el proceso de aprendizaje en el desarrollo de las actividades docentes, además de promover el pensamiento creativo e innovador. La aplicación de estas metodologías ha contribuido a la mejora en la visualización de modelos geométricos y la comprensión de enunciados y soluciones, permitiendo reducir el tiempo en exposiciones teóricas. Los resultados de la encuesta hacen percibir que favorecer el uso continuado de metodologías de aprendizaje activo mejora el desempeño del alumnado participante, especialmente cuando estas metodologías de aprendizaje activo se vuelven innovadoras, como coinciden otros autores. Estas metodologías de enseñanza se aplican en esta asignatura con resultados satisfactorios. Así lo demuestra la tendencia ligeramente

creciente en las notas finales de la asignatura, como el aumento de la satisfacción con el desempeño de las diferentes metodologías.

4. Conclusiones

Si bien la enseñanza tradicional sigue teniendo fuertes defensores, las administraciones y la propia universidad deben apoyar la implementación de prácticas innovadoras, en primer lugar, a los docentes más sensibles a la innovación docente y preocupados por mejorar la formación universitaria, y en segundo lugar para que finalmente sean de aplicación para todo el profesorado. El uso de estas técnicas de aprendizaje activo puede inspirar a otros/as autores/as a traducirlas a sus propios contextos y aplicarlas a otras áreas donde el componente tecnológico tiene una influencia considerable en el contenido de la asignatura. El trabajo futuro de esta investigación debe centrarse en trasladar este esfuerzo por volcar los contenidos y estrategias a la implementación de las clases de manera combinada y comprender mejor la implementación de estas metodologías en otros campos o áreas en los diferentes grados de ingeniería.

Referencias

- BORDA, E. (2020). Initial implementation of active learning strategies in large, lecture STEM courses: lessons learned from a multi-institutional, interdisciplinary STEM faculty development program. *International Journal of STEM Education*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-0203-2>
- BOUDE, D. (2010). Assessment 2020: Seven propositions for assessment reform in higher education. *Education and Training*, 330-333.
- BROWN, T. (2008). Design Thinking - Design Básico. *Harvard Business Review*, 86(6), 84.
- DEL CANTO, P. (2011). Follow-Up and Feedback Processes in the Ehea. *Journal of Technology and Science Education*, 1(1), 12-22. <https://doi.org/10.3926/jotse.2011.14>
- JOHNSON, D. (2014). Cooperative Learning: Improving University Instruction by Basing Practice on Validated Theory. *Journal of Excellence in College Teaching*, 25, 85-118.

- LEVINE, D. (2014). Extended Abstract: *Design Thinking in Development Engineering*, 32(3), 1396-1406. ISSN-e 0949-149X.
- RAHMAN, A. (2016). Implementation strategy of project based learning through flipped classroom method. *ieeexplore.ieee.org* [online]. [Accessed 13 April 2020]. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8009030/> <https://doi.org/10.1109/IC3e.2016.8009030>
- VICTORIA, M. (2010). Valoración de la enseñanza: SEEQ. *Revista de Formación e Innovación Educativa Universitaria*, 3(4), 182-193.

Aprovechamiento de un Residuo Papelero para la Obtención de Nanocelulosa

Noemi Huete, M. Blanca Roncero

CELBIOTECH_Paper Engineering Research Group, ESEIAAT, Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (UPC)

Resumen

La constante búsqueda de mejoras productivas en la industria papelera y la creciente concienciación de la sociedad por los problemas derivados del uso de materiales procedentes de la industria petroquímica, hace que científicamente hablando, haya un aumento en el interés de encontrar materiales renovables que los sustituyan. La biomasa lignocelulósica aparece en diversos estudios como una alternativa sostenible debido a su alta renovabilidad, abundancia, biodegradabilidad y su bajo coste. Un residuo típico de la industria del papel es el que procede de los fangos producidos en la depuración de aguas. Este residuo suele tener un alto contenido en material lignocelulósico. El presente estudio se presenta como una opción de reaprovechamiento de un residuo industrial, obteniendo un biomaterial nanocelulósico, gracias a tratamientos enzimáticos con celulasas y procesos mecánicos.

Abstract

The constant search for productive improvements in the paper industry and the growing awareness of society about the problems derived from the use of materials from the petrochemical industry, means that scientifically speaking, there is an increase in the interest of finding renewable materials to replace them. Lignocellulosic biomass appears in various studies as a sustainable alternative due to its high renewability, abundance, biodegradability, and low cost. A typical waste from the paper industry is that which comes from the sludge produced in water treatment. This residue usually has a high content of lignocellulosic

material. The present study is presented as an option to reuse an industrial waste, obtaining a nanocellulosic biomaterial, using enzymatic treatments with cellulases and mechanical processes.

1. Introducción

Hace ya unos años, que la industria, a nivel mundial, tiende a encaminarse hacia proyectos para optimizar procesos productivos con tal de maximizar los recursos disponibles, tanto materiales como energéticos, para que estos permanezcan el mayor tiempo posible en el ciclo productivo. Sin lugar a dudas, uno de los objetivos de la economía circular es reducir todo lo posible la generación de residuos y aprovechar al máximo aquellos cuya generación no se haya podido evitar.

Los modelos económicos productivos de muchas empresas papeleras son, aún a día de hoy, un modelo lineal, basado en: tomar fabricar consumir eliminar. Este modelo es agresivo con el medioambiente y terminará agotando las fuentes de suministro, tanto de materias primas como de fuentes energéticas. Por tanto, se hace necesario iniciar caminos de transición para pasar de la economía lineal a la economía circular.

Actualmente en Europa, se está trabajando en programas de investigación como Horizonte 2020 o la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la ONU, donde se marca como objetivo promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación, así como lograr una gestión sostenible y uso eficiente de los recursos naturales aspirando a lograr una gestión ecológica de los productos químicos de desecho y reducir considerablemente la liberación al ecosistema.

Desde el grupo de investigación de CELBIOTECH de la ESEIAAT de Terrassa, se desarrollan diversos proyectos donde principalmente se enfocan en la revalorización del material lignocelulósico, ya sea procedente de un residuo de la industria papelera o agrícola, o directamente de la misma materia virgen. En los proyectos del grupo investigador se aplican procesos tanto de biotecnología, como de nanotecnología. De

esa forma, por un lado, de las materias primas se extraen y se fabrican productos nuevos con ciertas cualidades de alto valor añadido. Y por otro lado, de los residuos generados se recuperan materiales y sustancias que posteriormente se reincorporan, de forma segura para el medioambiente, de nuevo al proceso productivo. Tratando así de alguna manera de desvincular el crecimiento del consumo de recursos. La incorporación de estas tecnologías innovadoras son claves en la modernización de los sectores. Es decir, la innovación es el gran aliado de la sostenibilidad.

El residuo con el que se trabaja en el presente estudio procede de la depuración de aguas de una fábrica del Alt Penedés (Cataluña) que trabaja con fibra virgen para realizar papeles. Tras recircular las aguas coladas de la fábrica varias veces, y pasando por diferentes sistemas de filtración, el rechazo de agua con contenido fibroso es redirigida al sistema de depuración y separación física por decantación. Es decir, el agua reposa un tiempo de forma estática en un primer tanque, al no haber agitación, se origina una separación física entre el peso del agua y el peso de la materia sólida (fibras celulósicas, restos de agentes encolantes o componentes aditivos del proceso de producción, y restos inorgánicos del circuito del tipo: áridos o metálicos). La materia sólida se

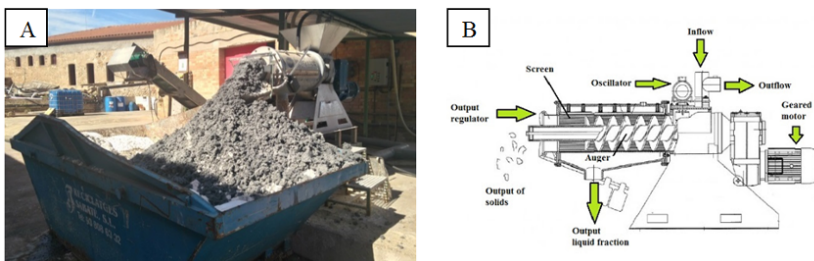


Figura 1. A) Contenedor de residuo in-situ.
B) Mecanismo del Separator FAN PSS www.fan-separator.de.

succiona mediante una bomba y un separador a tornillo prensor FAN PSS (Figura 1).

Según datos proporcionados por la propia empresa papelera, en el pasado 2019, se gestionó 25,7 toneladas de este material sólido prensado. Por lo que resultaría muy interesante poder reaprovechar este residuo para obtener nuevos productos. En el presente estudio se realiza una caracterización y unos ensayos preliminares para evaluar el posible potencial de utilización de este residuo.

2. Métodos

Para la purificación del residuo se realizó un lavado a presión con agua descalcificada y a temperatura ambiente. Para la filtración de la pulpa, se utilizó un tamiz metálico de 0,07mm de luz de malla y tafetán 1:1.

En la desestructuración de la fibra se utilizó la enzima Celluclast de Novozymes® (C) de Dinamarca siguiendo el método del estudio de Beltramino, F. et al. 2018 y el refinado de la pulpa se realizó mediante el equipo de Molino Lampen (R) norma UNE-57024.

El análisis de la composición de la materia sólida se realizó mediante microscopio óptico Olympus modelo BH2, siguiendo la norma ISO 9184-3:1900. Para el porcentaje de materia inorgánica por ignición se siguió la norma UNE 57050, para el porcentaje de materia orgánica la norma ISO 14553 y el porcentaje de sequedad se determinó con el equipo Sartorius® según la norma ISO 638:1978. Se caracterizaron las muestras de pulpa mediante el analizador Kajaani FS3000 siguiendo la norma TAPPI T271- om-07. Se prepararon hojas con un formador equipado con un secador a presión tipo Rapid-Köthen® de acuerdo con la norma ISO 5269-2.

Los films se realizaron aplicando el método casting, con placas Petri de plástico de 9 cm de diámetro, depositando 10 g húmedos de muestra llevada a 2 L y secándose a 23 °C y 50% HR.

Para las características de las hojas y films se siguieron las normas: UNE-EN ISO536 determinación de peso y determinación del gramaje, UNE-EN ISO534 y UNE-EN ISO12625-3 para espesor y determinación de la densidad aparente, UNE-ISO 5636-3 para determinación de la permeancia al aire con equipo Bendtsen® y con equipo Bekk®, para la determinaron propiedades ópticas ISO3688:1999 para blancura y TAPPI 425M-60 para opacidad, con un equipo Technydyne® PC Color Touch. Se usó microscopio USB de superficie Discovery® vms-001 con 200x aumentos para ver observar la formación de los films a nivel superficial. La norma UNE EN ISO 1924-2:2008 e ISO 1924-2:2005 para ensayos de tracción, UNE 57053 para Water drop Test (WDT). Para la determinación del ángulo de contacto con agua (WCA) se utilizó un Goniofotómetro Dataphysics ® OCA15EC.

3. Resultados y discusión

Se prevé que el componente mayoritario que conforme el residuo sea la celulosa, aunque seguramente también hay impurezas de origen orgánico e inorgánico (Figura 2). Por ello se realizan ensayos de ignición de sólidos y extracción para obtener el porcentaje de impurezas del

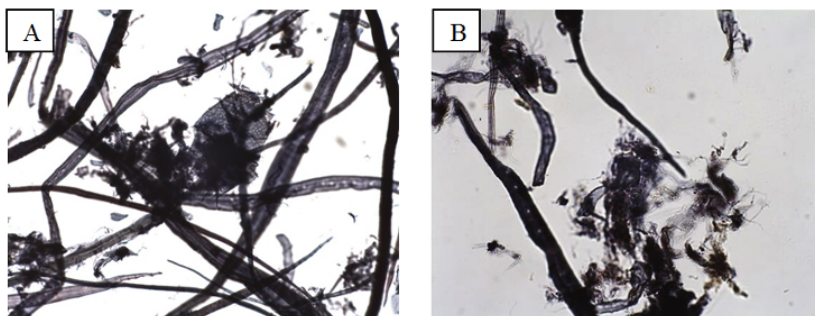


Figura 2. A y B) Diversas clases de fibras y restos celulares rodeados por impurezas de la muestra inicial M0 (20x).

residuo, siendo un $6,47\% \pm 0,2$ de origen inorgánico y un $0,63\% \pm 0,01$ de origen orgánico.

Según los resultados obtenidos, mediante un recuento microscópico, un $53\% \pm 7,1$ de la celulosa es de la familia de las frondosas, un $38\% \pm 5,4$ de la familia de las coníferas y un $9\% \pm 1,9$ que revelan la presencia de linters de algodón.

Debido a esta presencia de impurezas, se requirió realizar una previa purificación de la muestra inicial M0. Para ello, se optó por realizar un lavado con agua descalcificada a temperatura ambiente, aplicada con una cierta presión y utilizando como soporte filtrante un tamiz de acero de $0,07$ mm de luz, obteniendo la muestra lavada L1 (Figura 3).

Posteriormente, se comprobó, mediante la realización de hojas en un formador de laboratorio (Figura 4), que el residuo altamente celulósico podía tener aún una buena formación y capacidad de enlaces y por tanto ofrecer la opción de materia prima para el sector del papel recuperado.

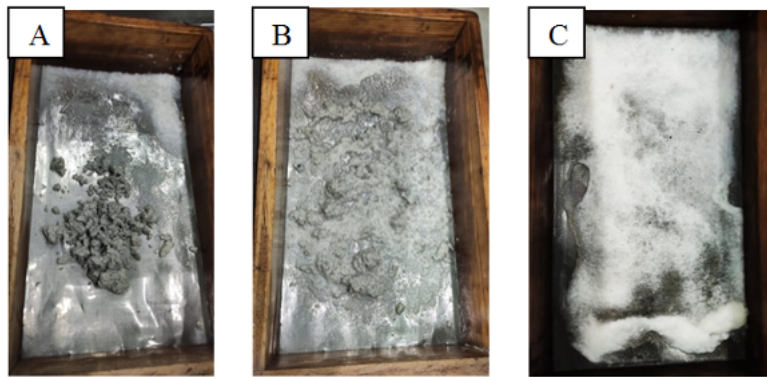


Figura 3. A) Inicio del proceso de lavado/purificación.
B) Cambio de tonalidad de la pulpa durante el lavado con agua descalcificada.
C) Resultado de la purificación.

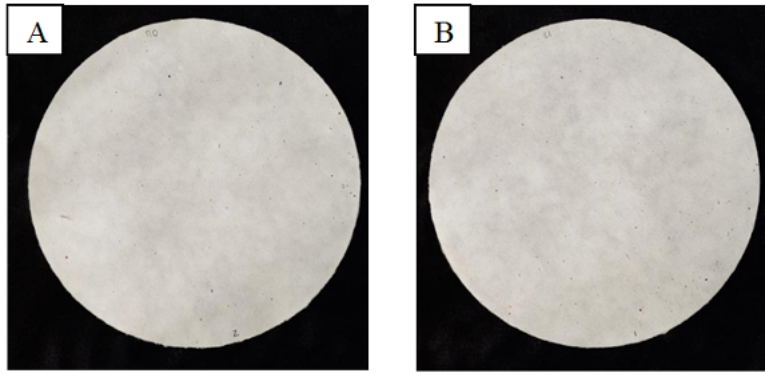


Figura 4. A) Hoja de la muestra inicial M0.
B) Hoja de la muestra lavada L1.

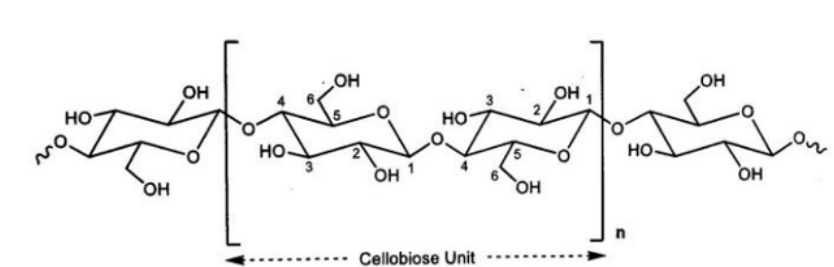


Figura 5. Esquema parcial de la estructura de la cadena de la celulosa.
(Future Markets, 2017).

La celulosa se puede describir como un polímero natural propio del mundo vegetal, se encuentra de forma abundante en la naturaleza. Son cadenas lineales de combinaciones de D-glucosa que se enlaza mediante un enlace glucosídico en la configuración β (1,4), formando paquetes de celobiosas (Figura 5). Las moléculas de celulosas tienen una fuerte reactividad uniéndose entre sí, formando puentes de hidrógeno (García Hortal et al., 2007).

Los métodos desarrollados para la obtención de nanocelulosa (NC) se dividen en dos grupos: los tratamientos químicos, obteniendo nanocristales de celulosa o nanocelulosa cristalina (NCC) y los tratamientos mecánicos, obteniendo nanofibras de celulosa o celulosa fibrilar (NCF). Estos métodos se pueden combinar con tratamientos enzimáticos para reducir químicos y consumos energéticos.

Actualmente, la nanocelulosa fibrilar (NCF) está generando un gran interés en la comunidad científica y tecnológica (Nechyporchuk et al., 2015; Siqueira et al., 2010). Ya que el resultado es un tipo de nanopartícula, con mejores capacidades de enlaces entre fibras que los de nanocelulosa cristalina. Es por ello que, se decide trabajar por esta línea.

Hubbe M.A. en un review publicado en 2014, plantea la mejora de las propiedades mecánicas de productos papeleros con la adición de NCF, obteniendo mayor prolongación de la vida útil de las fibras celulósicas incluso disminuyendo el gramaje del papel. Por tanto, conllevaría a hablar de la posibilidad de una economía más circular ya que, se precisaría una menor demanda de recursos celulósicos para la producción de un mismo producto.

En 2013 Sehaqui y sus colaboradores proponen refinar a diferentes grados una pasta blanqueada de pino (1000, 2000 y 4000 r.p.m en un refinador de Molino PFI). El objetivo era obtener papeles de alta densidad, combinando el efecto del refinado mecánico y de las NCF. Incrementando las propiedades físico-mecánicas de los papeles (Torres López, 1988).

En el presente estudio se realiza la nanofibrilación mediante un equipo refinador Lampen (R). Teniendo en cuenta un pequeño estudio previo de tiempos de refinados realizados, se definen las condiciones de operación de la Tabla 1.

Por otro lado, el uso de enzimas en la industria papelera se viene aplicando desde hace algunos años, aunque es relativamente actual la utilización de enzimas para facilitar procesos en la desestructuración de la

Parámetros	Condiciones
Velocidad	61.167 r.p.m.
Tiempo	4 horas
Pasta	30g pasta seca
Consistencia	3%
Agua	Desionizada
Temperatura	Ambiente

Tabla 1. Condiciones de operación utilizadas para el tratamiento de refinado con Molino Lampen (R).

fibra (García et al., 2002), pudiendo obtener nanocelulosa, en combinación con procesos mecánicos. Las celulasas (C) son enzimas específicas en la descomposición de la celulosa en polímeros de cadena más corta (incluso llegando a oligómeros) y múltiples monómeros de glucosa (unidad de repetición de la celulosa). Bajo el término celulasa, se encuentran tres tipos de enzimas (Valls et al., 2019; Beltramino et al., 2018):

- Las exo- β -1,4-glucanasas.
- Las endo- β -1,4-glucanasas.
- Las β -glucosidasas.

En 2002, investigadores de la Universitat Politècnica de Catalunya y de la Universitat de Barcelona constataron que las celulasas endo- β -1,4-glucanasas favorecían la capacidad de drenaje de las suspensiones papeleras, y la resistencia a tracción a medida que se incrementaba el grado de refinado mecánico (Cadena et al., 2010). Lecourt M. y su equipo en 2010, evaluó el efecto de las celulasas endo- β -1,4- glucanasas durante el refinado. Se observó que a medida que se incrementaba la carga de enzimas; la energía necesaria para alcanzar un cierto valor de longitud de ruptura era menor, mientras que al aplicar un mismo consumo de energía el valor de longitud de ruptura era superior.

En el presente trabajo, tras realizar un pequeño estudio con dos marcas comerciales de celulasas: FiberCare® y Celluclas® de la compañía Novozymes®, se decide trabajar con Celluclas®. Para ello se siguen los parámetros encontrados en el artículo de Beltramino et al. (2018), donde narra procesos enzimáticos con Celulasas para obtener NCC.

Por último se realizan secuencias combinadas de refino-celulasas y celulasas-refino y por el método casting se obtienen films (Figura 6) que se caracterizan según los métodos indicados en el apartado 2.

En general se ha observado que a mayor contenido de NCF se generan films con mayores valores de densidad, menos permeables al aire, menos blancos y pero más transparentes. Se corrobora que, el tratamiento enzimático incrementa el porcentaje en obtención de NCF, y también favorece el comportamiento hidrofóbico, dando lugar a films más transparentes que los solo refinados.

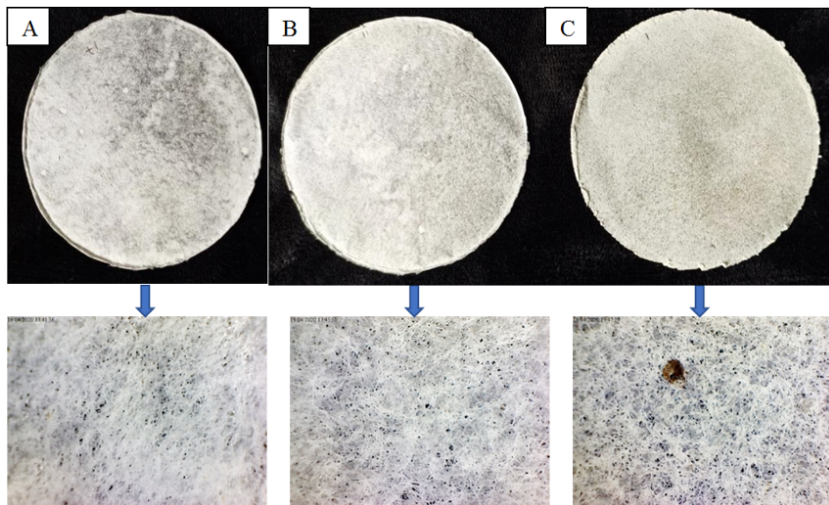
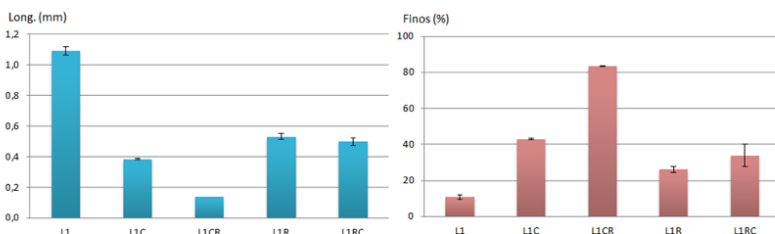


Figura 6. A) Film de la secuencia L1R. B) Film de la secuencia L1RC. C) Film de la secuencia L1CR. Y sus respectivas formaciones (200x).

En los tratamientos combinados, el descenso de la longitud de fibra ha sido de casi un 85% en L1CR y de un 50% en L1RC (Tabla 2). En cuanto a finos, el aumento ha sido considerable, principalmente en la muestra L1CR donde ha alcanzado valores de un 83%, en cuanto al 11% de partida de L1, suponiendo un aumento del 72%. Esto indica que parece ser más efectivo utilizar el tratamiento enzimático antes del tratamiento mecánico. A partir de aquí, se estudiarán las diferentes condiciones del tratamiento enzimático y mecánico para conseguir optimizar la obtención de NCF a partir de este residuo industrial paplero.



Parámetros	L1	L1C	L1CR	L1R	L1RC
Long. (mm)	1,09 ± 0,03	0,39 ± 0,004	0,14 ± 0	0,53 ± 0,02	0,50 ± 0,025
Finos (%)	10,9 ± 0,07	43,0 ± 0,39	83,5 ± 0,17	26,2 ± 1,69	33,9 ± 6,22

Tabla 2. Longitud de fibra y porcentaje en finos de las secuencias: L1, L1C, L1CR, L1R y L1RC.

Tras realizar este estudio, se ha tomado conciencia de que el sector paplero debe cada vez más dirigirse a modelos de economía circular, con la finalidad de incorporar nuevas tácticas de innovación en procesos y productos para mejorar no solo su sistemática, sino también para preservar el medio ambiente.

Por otro lado, la biotecnología juega un papel importante para dar uso de procesos biológicos en las industrias y, así, asemejar la producción

derivada de la activitat humana a los processos naturals, emulando conceptos de sostenibilitat com la de “economia circular”, ciclo de vida o ecologia industrial.

Se ha podido demostrar que tècnicamente se puede aprovechar el residuo de la depuradora de una empresa papelera para generar NCF. Así como también para la producción de papel recuperado.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida del Ministerio de Economía y Competitividad de España en los proyectos FILMBIOCEL (CTQ2016-77936-R, financiación también de FEDER) y MICROBIOCEL (CTQ2017-84966-C2-1-R).

Referencias

- BELTRAMINO, F.; RONCERO, M. B.; VIDAL, T.; & VALLS, C. (2018). A novel enzymatic approach to nanocrystalline cellulose preparation. *Carbohydrate Polymers*, 189, 39-47. CELBIOTECH, UPC, Terrassa. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.02.015>
- CADENA, E. M.; CHRIAC, A.I.; PASTOR, F. I.; DIAZ, P.; VIDAL, T.; & TORRES, A. L. (2010). Use of cellulases and recombinant cellulose binding domains for refining TCF kraft pulp. *Biotechnol Prog.*, 26(4), 960-967. <https://doi.org/10.1002/btpr.411>
- GARCÍA HORTAL, J.A. (2007). *Fibras Papeleras*. Edicions UPC, Barcelona.
- GARCIA, O.; TORRES, A.; COLOM, J.; PASTOR, F.; DIAZ, P.; & VIDAL, T. (2002). Effect of cellulase- assisted refining on the properties of dried and never-dried eucalyptus pulp. *Cellulose*, 9(2), 115-125. <https://doi.org/10.1023/A:1020191622764>
- HUBBE, M.A. (2014). Prospects for maintaining strength of paper and paperboard products while using less forest resources: *A Review. BioResources*. 44(9), 27-40. <https://doi.org/10.15376/biores.9.1.1634-1763>
- LECOURT, M.; SIGOILLOT, J. C.; & PETIT-CONIL, M. (2010). Cellulase-assisted refining of chemical pulps: Impact of enzymatic charge and refining intensity on energy consumption and pulp quality. *Process biochemistry*, 45(8), 1274-1278. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.04.019>

NECHYPORCHUK, O.; PIGNON, F.; & BELGACEM, M. N. (2015).
Morphological properties of nanofibrillated cellulose produced using wet
grinding as an ultimate fibrillation process. *J. Mater Sci.*, 50, 531-541. [https://
doi.org/10.1007/s10853-014-8609-1](https://doi.org/10.1007/s10853-014-8609-1)

Packaging y Sostenibilidad en el e-Commerce

Sílvia Escursell

CELBIOTECH_Paper Engineering Research Group, ESEIAAT, Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (UPC)

Pere Llorach-Massana

ELISAVA_Escola Universitària de Disseny i Enginyeria de Barcelona. Departament Elisava Research (UPC)

M. Blanca Roncero

CELBIOTECH_Paper Engineering Research Group, ESEIAAT, Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (UPC)

Resum

El e-commerce está generando un incremento exponencial de ingresos para las empresas, pero también está provocando un impacto ambiental importante, es decir se generan más residuos y una elevada huella de carbono como consecuencia de todos los trayectos. Este artículo presenta un breve análisis de la problemática, además de entender la evolución del packaging, desde finales del s. XIX, conocido como la época moderna del packaging, y la evolución de los materiales hasta la actualidad. El objetivo es saber escoger los materiales más adecuados, entender y reflexionar sobre la evolución de la logística y la tecnología, de manera que la producción y la forma del packaging permitan una alternativa a la existente. El propósito es aportar soluciones más adecuadas a este actual servicio, sin perder sus funciones principales como el de proteger y comunicar. Todo ello, debe pensarse desde la visión del diseño y la sostenibilidad pensando en la economía circular y las 5R.

Abstract

E-commerce is generating an exponential increase in income for companies, but is also causing a significant environmental impact, i.e. more waste and a high carbon footprint are generated as a result of all the journeys. This article presents a brief analysis of the problem, as well as understanding the evolution of packaging, from the end of the 19th century, known as the modern era of packaging, and the evolution of materials up to the present day. The aim is to know how to choose the most suitable materials, to understand and reflect on the evolution of logistics and technology, so that the production and the shape of the packaging allow an alternative to the existing one. The purpose is to provide more appropriate solutions to this current service, without losing its main functions such as protection and communication. All this must be thought of from the point of view of design and sustainability, thinking of the circular economy and the 5Rs.

1. Introducción

El e-commerce aumenta cada año en muchos países desarrollados. En el 2020, como consecuencia de la pandemia del Covid-19 se ha fomentado el uso de este servicio obligando a muchas tiendas físicas a empezar a vender online (Kim, 2020) . Y por lo tanto se ha generado un cambio de comportamiento de compra en los consumidores, muchos de los cuales han adquirido algún producto en internet por primera vez durante la pandemia. Se intuye que esta actitud seguirá presente hasta que se encuentre una vacuna eficaz contra el SARS-CoV-2 por temor a ser infectados en los grandes centros comerciales (Organization, 2020). Según los últimos datos se predice que la incursión del e-commerce aumentará hasta un 25% para 2026 (Taylor, 2019). Pero este aumento tendrá un impacto negativo en el medio ambiente debido a las emisiones de CO₂ y a la energía consumida. Los clientes prefieren comprar online porque es más conveniente, sin embargo, los efectos ambientales producidos van a requerir de una mayor investigación.

Por ejemplo, se ha analizado el impacto del e-commerce en comparación con el de las compras tradicionales en las tiendas. Diferentes estudios demuestran que la venta en tiendas físicas permite reducir entre el 70% y el 84% de CO₂ (Cairns, 2005; Carling, 2015), en especial en países con baja densidad de población, como es el caso de Suecia (Smidfelt Rosqvist & Hiselius, 2016). Algunas investigaciones indican que el e-commerce es una buena opción para las entregas no urbanas con largas distancias (Morganti et al., 2014; Moroz, 2016). En el caso de las ciudades urbanas, el principal problema es la "última milla", por las diferentes variables como es el caso del comportamiento de los consumidores, el análisis de las emisiones de CO₂, así como el tipo de embalaje, sus materiales y el tamaño de este.

También existe una creciente preocupación por el uso del material o materiales seleccionados para el packaging, al tener un resultado indirecto sobre el consumo de energía que afecta la logística y los residuos que produce. Otras variables a tener en cuenta son el peso y el volumen del packaging, porque también pueden afectar el consumo de energía del transporte. Lo cierto es que el diseño de un packaging tiene una incidencia directa del 80% en el medio ambiente (Escursell et al., 2020).

2. Evolución del packaging moderno

Durante el período comprendido entre 1880 y 1900 se ha considerado como el inicio de la era moderna del packaging. Este período aportó nuevos conceptos como el marketing masivo y la producción masiva, que se desarrollaron en paralelo con la apertura de los primeros supermercados con altos volúmenes de productos que permitían bajos precios, así como el desarrollo de la publicidad estratégica en el mismo envase. Esta revolución aportó grandes beneficios tanto a los fabricantes de productos como los de envase, innovando en nuevas formas de mecanizar la producción. Los materiales de packaging más utilizados durante este periodo fueron el cartón, la lata y el vidrio. Las ventajas que

ofrecían las cajas de cartón permitieron aumentar gradualmente la cuota de mercado en muchos sectores industriales. En este primer período de abundancia, se registraron patentes para 800 tipos diferentes de cajas. En la Fig.1 se muestra una caja propia de aquella época, y, como se puede observar, su forma se sigue utilizando en la actualidad, siendo muy común en el e-commerce (Escursell et al., 2021).

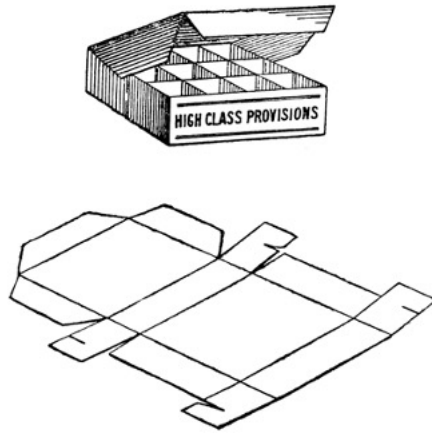


Figura 1. Caja de cartón de 1896
(Davis, 1967).

Con la llegada de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) la escasez de materiales dio preferencia a la fabricación de productos que estaban más relacionados con la guerra y que se enviaban a los soldados en la batalla. Esto dejó a la población en general sin recursos (Schleger, 1968; Sheldon, 1944).

En los años 50/60 el packaging tuvo una nueva misión y era la de ayudar a vender los productos que contiene, además de seguir protegiendo. En ese momento, fue necesario comprender las necesidades de los consumidores y aplicar técnicas de marketing mix como la

investigación de mercado, la comercialización y la publicidad para así satisfacerlas (Cheskin, 1957; Opie, 1991; Piselli, 2016; Vilnai-Yavetz, 2013). Sin embargo, también fue el inicio de una nueva problemática, es decir, la generación de residuos y ciclos de vida de productos más cortos, conocido como "obsolescencia programada".

Según James Pilditch, el envase actúa como un vendedor. En consecuencia el diseño y la publicidad en el packaging cobraron mucha importancia, porque éste permite comunicar cualidades a los productos que no les conciernen (Cheskin, 1957; Maffei & Schifferstein, 2017; Pilditch, 1963). De hecho, las antropólogas, Margaret Mead y Marija Gimbutas, estudiaron y demostraron que esta idea ya provenía de las tribus más primitivas que han existido en el planeta, al utilizar las formas del packaging tanto para proteger como para enaltecer los productos. Margaret Mead investigó cómo los indígenas envolvían los regalos para dar el efecto sorpresa a la hora de abrirlos y utilizaban las hojas de plátano para empaquetar los productos, de esta manera el resto de la tribu no podían saber qué era (Gimbutas, 1991; Pilditch, 1963).

Estos estudios demostraron que el packaging ha sido muy útil desde épocas remotas, aunque el significado emocional obtuvo una nueva perspectiva desde los años 50. Cabe tener en cuenta que el cambio de hábitos del consumidor facilitó la expansión de los almacenes autoservicio, es decir los supermercados (Piselli, 2016; Twede, 2012). En 1916, Clarence Saunders instauró esta nueva modalidad en Estados Unidos mientras que en Inglaterra no surgieron hasta el 1947. Desde entonces, las cadenas de supermercados dirigen la distribución, además de generar sus propias marcas blancas.

A principios de los 60 se implantó el servicio de entrega a domicilio, fue un concepto muy conveniente para las mujeres que ya trabajaban y eran más autónomas, de esta manera se les facilitaba la compra. En este sentido los supermercados también ofrecían abrir cuenta a los clientes, generando más tarde las conocidas tarjetas de fidelidad.

Como consecuencia de la innovación en los métodos de packaging apareció un nuevo escenario en el supermercado, los alimentos congelados. Aunque lo más significativo fue que el packaging además de servir como contenedor tenía personalidad, generando emociones en los consumidores. Para crear esta identidad y diferenciarse de la competencia fue imprescindible la evolución del diseño y las técnicas del marketing, permitiendo explicar una historia que generase confianza, conocido hoy en día como 'storytelling'.

Fue así como en los años 60, Louis Cheskin, un psicólogo y especializado en marketing innovador, acuñó el concepto de "transferencia de sensaciones", es decir, cómo despertar las emociones de las personas a través de la estética del diseño de envases. Esto significaba que los envases no deberían centrarse en valores estéticos como la forma, el tamaño, el color o los gráficos para atraer la atención de los clientes, sino más bien en asignar valores de los productos a su packaging para que los clientes pudieran escoger uno u otro, creando un posicionamiento emocional mediante la comunicación. En este sentido era fundamental pensar en los atributos multisensoriales.

Por ejemplo, el color es uno de los elementos visuales más potente para atraer al consumidor, mientras que el tacto también aporta una gran influencia a la hora de escoger el packaging, no tan solo por las emociones que aporta, sino también por la textura, el peso, aunque se debería tener en cuenta el coste del transporte. De esta manera un consumidor puede escoger una botella de agua mineral más cara porque le hace sentir bien (Celhay et al., 2015; Ollins, 2004; Spence, 2016).

Por esta razón, a la hora de diseñar un packaging se deben tener en cuenta muchas variables como una comunicación efectiva, para que de esta manera el consumidor reconozca la marca (el logotipo, el nombre los colores aplicados aportan emociones), el producto, el precio y la cantidad; que tenga un sistema de apertura y de cierre fácil; que sea fácil de uso (pensando sobre todo en las personas mayores) (Ollins, 2004; Underwood et al., 2001). Sin olvidarse que el packaging tiene la función

de proteger (bacterias, roturas, luz, humedad, olor, vibración), manteniendo un coste razonable para que el consumidor lo pueda adquirir, además tiene una influencia en las ventas del producto por su innovación o diferenciación, y el material debe ser de fácil reciclado o reutilización una vez se ha utilizado. Por lo tanto, cabe tener en cuenta los materiales que se escogen. Es fundamental seleccionar los más adecuados, con el añadido que hoy en día también deben ser sostenibles.

Durante las décadas de 1960 y 1970 se consideró la edad de oro de los avances en tecnología y viajes espaciales. Estos avances permitieron la producción de nuevos materiales, como plásticos resistentes al agua y al vapor, aluminio y adhesivos para satisfacer las necesidades de la industria del embalaje (Wudl, 2014).

Afortunadamente, los avances científicos y tecnológicos han conducido a un enfoque más humanista. De esta manera, los materiales ahora pueden examinarse a niveles más profundos, como los que ofrece la nanotecnología. De hecho, los científicos han demostrado que algunos materiales a nanoescala pueden adaptarse a muchos otros y, como resultado, mejorar sus propiedades. La nanotecnología puede ser muy útil para comprender las propiedades físicas, químicas y biológicas de los materiales a muy pequeña escala. En la siguiente sección se hablará con más detalle.

2.1. Evolución de los materiales

Como bien se ha comentado en el punto anterior, en los inicios de la época moderna del packaging, los envases utilizaban mayoritariamente materiales como papel kraft y tela, papel o madera, hojalata y vidrio. Durante la Segunda Guerra Mundial, al ser una época de carencia, la gente prefería pagar unos céntimos de más por el producto, y así poder reutilizar el envase, como por ejemplo las botellas de vidrio.

Hasta que no apareció el plástico en los años 60, el uso de materiales utilizados para el packaging no varió desde finales del siglo XX. El

plástico representó en ésta época el material principal para todo tipo de embalaje al ser moldeable, duradero, higiénico y económico. El polietileno (PE) y el tereftalato de polietileno (PET) eran los materiales más utilizados para botellas de agua y bolsas de plástico, y todavía siguen vigentes en el mercado.

En la actualidad, el uso de la celulosa como alternativa al plástico vuelve a ser imperante. Las amplias propiedades de la celulosa podrían explorarse para su empleo en envases desechables, pero tiene algunas limitaciones en cuanto a propiedades barrera.

Una opción la encontramos en la nanocelulosa (NC), con la virtud de sus excepcionales propiedades mecánicas, físicas, térmicas, ópticas e incluso de barrera, parece tener un alto potencial para una amplia variedad de usos. En los últimos estudios sugieren que la industria del envasado de alimentos está buscando formas eficientes de producir este material de base biológica resistente y ligero (Cusola et al., 2018; Fillat et al., 2018). Debido a que tiene propiedades antimicrobianas, es transparente y impermeable al agua y al oxígeno, la nanocelulosa es muy adecuada para envases que estén en contacto con alimentos.

2.2. Impresión en 3D

La impresión en 3D permite concebir un objeto mediante la extrusión de material. Se pueden aplicar diversos materiales, pero son especialmente adecuados los plásticos, bioplásticos, otros polímeros, metales, cerámica, vidrio o incluso tinta viscoelástica comestible para alimentos (Jordan, 2019; Keating, 2016; Mogas-Soldevila et al., 2014). Las últimas tecnologías permiten incluso imprimir carboximetil celulosa (CMC) con alginato de sodio para crear un hidrogel híbrido y así obtener biomateriales (Habib et al., 2018). Gracias a estos biomateriales se pueden imprimir tejido biocompatible para reemplazar aquellos que están dañados en una persona.

Se está demostrando además que la impresión en 3D es sostenible, esta no genera sobras de materiales o mermas como en la producción del papel, cartón u otros materiales porque su proceso es el de ir añadiendo material (Sauerwein et al., 2019). También permite recuperar los materiales de manera rápida y que tengan un retorno fácil en la economía circular. Esto significa que se puede realizar una producción local, rápida e incluso reparar rápidamente si ha habido algún daño en la producción. El consumo de energía también es menor que en la producción de materiales como el cartón y el papel, estos se deben de volver a manipular o imprimir y por lo tanto se necesita más energía al pasar por más fases. Otros valores positivos de la impresión en 3D es que permite realizar la forma que más convenga, sin ningún tipo de limitación y también permite personalizar, rompiendo con la repetición de la producción en masa.

En Finlandia la iniciativa de la universidad de Palo Alto, permite que investigadores de la facultad de ingeniería química unan fuerzas con la escuela de arte, diseño y arquitectura (Chemarts) para buscar nuevas maneras de utilizar la celulosa y también nuevos procesos de producción (Kääriäinen et al., 2015; Kääriäinen et al., 2020; Kataja & Kääriäinen, 2018). Esto les permite imprimir la celulosa tanto sólida como líquida para obtener resultados más apropiados a las necesidades actuales de la sociedad entre otras iniciativas.

3. Movilidad y transporte

El concepto tradicional de transporte está cambiando con la llegada de los automóviles autónomos y el nuevo paradigma de la gestión de datos. Los vehículos autónomos evitan tener conductores con comportamientos agresivos en las carreteras y esto conlleva a la reducción del consumo de combustible (Belvedere, 2017). Estudios recientes han demostrado que el uso adecuado de sensores y algoritmos puede reducir la actividad logística y por lo tanto reducir las emisiones de gases de

efecto invernadero (GHG), además de aumentar la eficiencia de los automóviles eléctricos y autónomos. Aunque en este sentido, es necesario realizar una evaluación del ciclo de vida (LCA) exhaustiva de las baterías de estos automóviles eléctricos.

Además, el uso de pequeños drones y robots para la entrega de paquetes puede reducir emisiones en la "última milla". Esto implicaría repensar las formas de estos paquetes así como el uso de materiales nuevos, siendo éstos más ligeros y sostenibles. De hecho, la empresa Matternet está revolucionando los estándares de transporte y está considerando la posibilidad de introducir drones como una opción de entrega eficaz además de las furgonetas eléctricas para que los envíos sean más eficientes de acuerdo con el tamaño del paquete a entregar (Matternet, 2017). Actualmente se buscan tecnologías alternativas, como es el caso del Hyperloop de Elon Musk, que se basa en el concepto del uso de sistemas de tubos neumáticos inventados a finales del siglo XIX. El desarrollo de estos nuevos métodos permitirá que el transporte sea más rápido y eficiente (Dudnikoy, 2017). De hecho hace pocos días Richard Branson, de Virgin, realizó una prueba en el Virgin Hyperloop con dos pasajeros (Virgin, 2020).

4. Evolución de la sostenibilidad en el diseño

El concepto de sostenibilidad apareció en la década de los 80. Los seres humanos empezaron a ser conscientes de la limitación de recursos fósiles utilizados para la producción de materiales y las consecuencias de las emisiones de gases de efecto invernadero tanto del transporte como de otras actividades industriales.

Aparecieron los conceptos de diseño verde y ecodiseño. Pero ambos principios fueron criticados por McDonough y Braungart por seguir el mismo planteamiento lineal conocido hasta entonces, aunque con la intención de tener menor impacto en el medio ambiente (Moreno, 2016). Posteriormente, el diseño sostenible dio un paso adelante considerando

los problemas sociales, incluida la usabilidad, el uso socialmente responsable, el abastecimiento y el diseño para una mayor recuperación y regeneración. El diseño sostenible dio un paso adelante para abordar las necesidades humanas.

Con el desarrollo de la metodología cualitativa Design for Environment (DfE) y Design for Sustainability (DfX) que surge a finales del siglo pasado, se crea un vínculo con el pensamiento sistémico, considerando el ciclo de vida en el diseño tanto de productos como servicios. Asimismo, puede ser posible la integración de la economía circular, un concepto más actual.

La economía circular es un sistema industrial pensado en poder regenerar o recuperar con conciencia y aplicar un buen diseño. Sustituye el concepto de fin de vida por la reutilización; el uso alternativo de energías renovables; evitar el uso de químicos tóxicos ya que perjudican la reutilización y el retorno a la biosfera; y la eliminación de residuos. O mejor dicho, los residuos pasan a considerarse nutrientes.

En el packaging se debe tener en cuenta las 4R, según la TU Delft University (Delft, 2020):

- *Reciclar*: modificar los residuos de los packaging ya usados para materiales de nuevos packs.
- *Reutilizar*: recolección, higienización y reutilización de packaging con la misma intención.
- *Renovar*: pensar en el uso de materiales renovables y/o biodegradables para packaging.
- *Repensar/rediseñar*: reflexionar sobre el diseño o aplicación del packaging para evitar las consecuencias en el medio ambiente. En este artículo se aporta una nueva R:
- *Regenerar* (Figura 2). Es decir, cómo a través de los materiales, es posible regenerar los ecosistemas que nos envuelven.



Figura 2. 5R de packaging.

5. Conclusiones

El e-commerce es un servicio propio del siglo XXI y crece exponencialmente. Una de las problemáticas de esta demanda es la cantidad de residuos que se generan, principalmente porque se sigue utilizando la misma forma del packaging de cartón, invención de finales del siglo XIX. Es por ello que en este artículo se reflexiona sobre la evolución tanto de los materiales como de las mejoras en logística para ofrecer un nuevo packaging con un material que dé soluciones a esta problemática actual. Uno de los planteamientos para futuras investigaciones es realizar más investigación en materiales renovables como la celulosa y sus derivados, y también cambiar la forma de producción a impresión en 3D, por ser más sostenible y permitir que la forma del packaging se adapte mejor al producto, de esta manera se evita desperdicio tanto en el material como en la logística.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida del Ministerio de Economía y Competitividad de España en los proyectos FILMBIOCEL

(CTQ2016-77936-R, financiación también de FEDER) y MICROBIOCEL (CTQ2017-84966-C2-1-R). También agradecen al Dr. Nicolas Maffei, de la Norwich University of Arts, por compartir sus conocimientos sobre la historia del packaging y a Amy Straker por su hospitalidad.

Referencias

- BELVEDERE, V. (2017). Sustainability and Logistics, Physical Distribution and Packaging. *Sustainable Operations*, 136. <https://doi.org/10.1002/9781119383260.ch6>
- CAIRNS, S. (2005). Delivering supermarket shopping: More or less traffic? *Transport Reviews*, 25(1), 51. <https://doi.org/10.1080/0144164042000218391>
- CARLING, K. (2015). Measuring transport related CO2 emissions induced by online and brick-and-mortar retailing. *Transportation Research Part D*, 40, 28. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.07.010>
- CELHAY, F.; BOYSSELLE, J.; & COHEN, J. (2015). Food packages and communication through typeface design: The exoticism of exotypes. *Food Quality and Preference*, 39, 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.07.009>
- CHESKIN, L. (1957). How to predict what people will buy. *How to Predict What People Will Buy*, Liveright Publishing Corp. New York.
- CUSOLA, O.; KIVISTÖ, S.; VIERROS, S.; BATYS, P.; AGO, M.; TARDY, B. L. et al. (2018). Particulate Coatings via Evaporation-Induced Self-Assembly of Polydisperse Colloidal Lignin on Solid Interfaces. *Langmuir*, 34(20), 5759-5771. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00650>
- DAVIS, A. (1967). *Package and Print. The Development of Container and Label Design*. Faber and Faber.
- DELFT, T. (2020). DELFT University of Technology. <https://www.tudelft.nl/>
- DUDNIKOV, E. E. (2017). Advantages of a new Hyperloop transport technology. *2017 Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD)*, Management of Large-Scale System Development (MLSD), 2017 Tenth International Conference, 1. <https://doi.org/10.1109/MLSD.2017.8109613>
- ESCURSELL, S.; JIMÉNEZ, C.; MARSÀ, M.; ALCÁZAR, M.; & TORNOS, F. (2020). La sostenibilidad en el packaging de aceite de oliva. *Mercader*, 220-224.
- ESCURSELL, S.; LLORACH-MASSANA, P.; & RONCERO, M. B. (2021). Sustainability in e-commerce packaging: A review. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124314>

- FILLAT, A.; MARTÍNEZ, J.; VALLS, C.; CUSOLA, O.; RONCERO, M. B.; VIDAL, T. et al. (2018). Bacterial cellulose for increasing barrier properties of paper products. *Cellulose*, 25(10), 6093-6105. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1967-0>
- GIMBUTAS, M. (1991). *The Civilization of the Goddess: The World of Old Europe*. Harper Business.
- HABIB, A.; SATHISH, V.; MALLIK, S.; & KHODA, B. (2018). 3D printability of alginate-carboxymethyl cellulose hydrogel. *Materials*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/ma11030454>
- JORDAN, J. M. (2019). Additive manufacturing (“3D printing”) and the future of organizational design: some early notes from the field. *Journal of Organization Design*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s41469-019-0044-y>
- KÄÄRIÄINEN, P.; HÄRKÄSALMI, T.; & VUORINEN, T. (2015). *Design driven value chains in the world of cellulose* (DWoC 2013-2015).
- KÄÄRIÄINEN, P.; TERVINEN, L.; VUORINEN, T.; & RIUTTA, N. (2020). *The Chemarts Cookbook*. Aalto University publications.
- KATAJA, K.; & KÄÄRIÄINEN, P. (2018). *Designing Cellulose for the future* (DWoC 2013-18).
- KEATING, S. J. (2016). 3D Printed Multimaterial Microfluidic Valve. *PLOS ONE*, 11(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160624>
- KIM, R. Y. (2020). The Impact of COVID-19 on Consumers: Preparing for Digital Sales. *IEEE Engineering Management Review*. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.2990115>
- MAFFEI, N. P.; & SCHIFFERSTEIN, H. N. J. (2017). Perspectives on food packaging design. *International Journal of Food Design*, 2(2), 139-152. https://doi.org/10.1386/ijfd.2.2.139_2
- MATTERNET. (2017). *Vans and Drones*. https://mtrr.net/vans_and_drones
- MOGAS-SOLDEVILA, L.; DURO-ROYO, J.; & OXMAN, N. (2014). Water-based robotic fabrication: Large-scale additive manufacturing of functionally graded hydrogel composites via multichamber extrusion. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 1(3), 141–151. <https://doi.org/10.1089/3dp.2014.0014>
- MORENO, M. (2016). A Conceptual Framework for Circular Design. *Sustainability*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/su8090937>
- MORGANTI, E.; DABLANC, L.; & FORTIN, F. (2014). Final deliveries for online shopping: The deployment of pickup point networks in urban and suburban areas. *Research in Transportation Business and Management*, 11(February 2012), 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2014.03.002>

- MOROZ, M. (2016). The Last Mile Issue and Urban Logistics: Choosing Parcel Machines in the Context of the Ecological Attitudes of the Y Generation Consumers Purchasing Online. *Transportation Research Procedia*, 16, 378. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.036>
- OLLINS, W. (2004). *Brand. Las marcas según Wally Olins*. Turner Publicaciones S.L.
- OPIE, R. (1991). *Packaging Source Book. A Visual Guide to a Century of Packaging Design*. Chartwell Books, Inc.
- ORGANIZATION, W. T. (2020). E-commerce, trade and the Covid-19 pandemic. *World Trade Organization*.
- PILDITCH, J. (1963). *El vendedor silencioso. Cómo realizar envases que venden*. Ediciones Occidentales.
- PISELLI, A. (2016). Designing sustainable scenarios: Natural-based coatings as a barrier to oil and grease in food paper packaging. *International Journal of Designed Objects*, 10(1), 23. <https://doi.org/10.18848/2325-1379/CGP/v10i01/23-31>
- SAUERWEIN, M.; DOUBROVSKI, E.; BALKENENDE, R.; & BAKKER, C. (2019). Exploring the potential of additive manufacturing for product design in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 226, 1138-1149. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.108>
- SCHLEGER, H. (1968). Package and Print. The Development of Container and Label Design Alec Davis. *Journal of the Royal Society of Arts*, 116(5146), 882.
- SHELDON, C. L. (1944). CONTAINERS GO TO WAR. *Harvard Business Review*, 22(2), 220.
- SMIDFELT ROSQVIST, L.; & HISELIUS, L. W. (2016). Online shopping habits and the potential for reductions in carbon dioxide emissions from passenger transport. *Journal of Cleaner Production*, 131, 163. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.054>
- SPENCE, C. (2016). Multisensory Packaging Design: Color, Shape, Texture, Sound, and Smell. In *Integrating the Packaging and Product Experience in Food and Beverages: A Road-Map to Consumer Satisfaction* (Issue April, pp. 1–22). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100356-5.00001-2>
- TAYLOR, K. (2019). *The retail apocalypse is far from over as analysts predict 75,000 more store closures*. Business Insider. <https://www.businessinsider.es/retail-apocalypse-thousands-store-closures-predicted-2019-4?r=US&IR=T>
- TWEDE, D. (2012). The birth of modern packaging: Cartons, cans and bottles diana twede. *Journal of Historical Research in Marketing*, 4(2), 245-272. <https://doi.org/10.1108/17557501211224449>

- UNDERWOOD, R. L.; KLEIN, N. M.; & BURKE, R. R. (2001). Packaging Communication: Attentional Effects of Product Imagery. *Journal of Product & Brand Management*, 10(7), 403-422. <https://doi.org/10.1108/10610420110410531>
- VILNAI-YAVETZ, I. (2013). Cutting through the clutter: Purchase intentions as a function of packaging instrumentality, aesthetics, and symbolism. *International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 23(4), 394. <https://doi.org/10.1080/09593969.2013.792743>
- VIRGIN. (2020). *Virgin Hyperloop*. <https://virginhyperloop.com/pegasus>
- WUDL, F. (2014). The Bright Future of Fabulous Materials Based on Carbon. *Daedalus*, 143(4), 31. https://doi.org/10.1162/DAED_a_00303

Anàlisi de l'Experiència Educativa en Estudis d'Enginyeria durant la Pandèmia de la COVID-19

Rosó Baltà-Salvador

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

Noelia Olmedo-Torre

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

Marta Peña

ETSEIB. Departament de Matemàtiques (UPC)

Resum

La pandèmia de la COVID-19 ha ocasionat el tancament d'universitats i la transició sobtada a l'aprenentatge a distància. Aquest context genera la necessitat d'entendre com ha estat l'experiència de l'estudiantat durant les classes en línia en la situació d'emergència sanitària. Aquest estudi té com a objectiu avaluar l'experiència de l'educació a distància durant la pandèmia de la COVID-19 mitjançant una enquesta anònima a 122 estudiants de segon, tercer i quart curs del Grau en Disseny Industrial i Desenvolupament del Producte de l'Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa (ESEIAAT). Els resultats mostren que el 58,2% de l'estudiantat ha disposat d'un espai d'estudi adequat malgrat que molts han experimentat problemes informàtics o de connexió a internet. Per altra banda, la percepció general és que les classes s'han adaptat correctament a la docència en línia, tot i que el 69,7% pensen que ha augmentat el temps dedicat a les assignatures. La resposta que ha tingut la universitat i el professorat envers la crisi sanitària es valora positivament per part dels i les estudiants. Finalment, l'estudi identifica bones pràctiques que seran de valor per la docència a distància, més enllà de la pandèmia.

Abstract

The COVID-19 pandemic has caused the closure of universities and the sudden transition to distance learning. This context creates the need to understand how the students' experience has been during the online classes in the health emergency situation. This study aims to evaluate distance education experience during the COVID-19 pandemic through an anonymous survey of 122 second, third and fourth-year students of the Degree in Industrial Design and Product Development of the Higher School of Industrial Engineering, Aerospace, and Audiovisual of Terrassa (ESEIAAT). The results show that 58.2% of the students have had an adequate study space even though many have experienced computer problems or poor internet connection. On the other hand, the general perception is that the classes have adapted correctly to online teaching, although 69.7% think that the time spent on the subjects has increased. The university and the teaching staff's response to the health crisis are valued positively by the students. Finally, the study identifies good practices that will be of value for distance teaching beyond the pandemic.

1. Introducció

La pandèmia de la COVID-19 ha suposat un desafiament sense precedents en l'àmbit educatiu a escala global. En molts països s'ha confinat la població, el que ha provocat la suspensió de l'ensenyament presencial i el trasllat forçat als sistemes d'aprenentatge en línia (UNESCO, 2020).

En els estudis universitaris d'enginyeria això ha suposat un gran repte, ja que gran part del procés d'aprenentatge està basat en aplicacions pràctiques, classes de laboratori i el contacte directe entre professors/es i alumnes i alumnes entre si.

La literatura actual ha identificat diversos desafiaments en relació amb l'educació en línia que s'han pogut intensificar per la situació de confinament i per la ràpida transició del format presencial al format en línia.

1.1. Condicions de l'espai d'estudi

El canvi inesperat a l'educació en línia ha fet que docents i personal de l'àmbit acadèmic es preguntin si les condicions de l'espai d'estudi i recursos dels quals ha disposat l'estudiantat, com accés als equips necessaris i una correcta connexió a internet, han estat els adequats per a poder seguir les classes a distància.

En diversos estudis, els/les estudiants universitaris indiquen que l'entorn d'aprenentatge no ha estat adequat. En alguns casos es mencionen les interrupcions per part d'altres familiars o persones amb qui han conviscut i l'increment de les distraccions com a factors que han afectat la seva capacitat de concentració (Son et al., 2020; Gelles et al., 2020; Driessen et al., 2020).

Per altra banda, en l'estudi a gran escala d'Aristovnik (2020) sobre l'impacte de la COVID-19 en estudiants universitaris, el 86,2% dels/les estudiants europeus va indicar tenir un accés freqüent a ordinadors, per darrere d'Oceania (96%) i Nord Amèrica (93,6%) i el 68,3% va indicar tenir una bona connexió a internet, també per darrere d'Oceania (70%) i Nord Amèrica (70,5%).

1.2. Adaptació de la docència al format en línia

Un dels grans reptes de la transició a l'educació a distància ha estat l'adaptació de les classes, activitats acadèmiques i mètodes d'avaluació al nou format. A causa de les diferents necessitats de cada grau universitari i fins i tot de cada assignatura, s'han utilitzat diferents metodologies i eines per tal d'adaptar de la millor manera possible tot el contingut i activitats al model en línia. Aquesta falta d'homogeneïtat en les pràctiques i maneres d'adaptar les assignatures ha fet que es trobin grans diferències en els resultats d'estudis al voltant d'aquesta qüestió.

En alguns estudis, els i les estudiants es mostren menys satisfets/es pel que fa a les classes i els mètodes d'avaluació en el format en línia que en el format presencial (Linh & Trang, 2020). Per altra banda, els i les

estudiants indiquen que en alguns casos no s'han ajustat les assignatures tenint en compte les condicions de pandèmia, fet que ha provocat una alta càrrega de feina (Son et al., 2020; Gelles et al., 2020). Per contra, altres estudis indiquen una alta satisfacció pel que fa als mètodes d'avaluació aplicats, els materials i les classes durant la docència no presencial (Puljak et al., 2020; Jacques, Ouahabi & Lequeu, 2020).

En relació amb l'adaptació de la docència, una altra de les variables d'estudi en la literatura ha estat el suport que ha tingut l'estudiantat durant les classes a distància. Mentre que hi ha articles que indiquen que s'ha percebut una gran falta de suport per part del professorat (Alnusairat, Al Maani, Al-Jokhadar, 2020), altres indiquen el contrari (Jacques, Ouahabi & Lequeu, 2020).

1.3. Resposta de la universitat i bones pràctiques

Per la gran variabilitat dels resultats en la literatura, és important que cada universitat elabori les anàlisis pertinents per entendre com s'han sentit els i les estudiants i com han percebut l'adaptació de la docència en cada cas.

Per altra banda, és important identificar les bones pràctiques que s'han dut a terme durant l'ensenyament a distància en el context de la pandèmia de la COVID-19 per ajudar al professorat i les institucions a implementar noves metodologies i dur a terme accions que beneficiïn a l'alumnat en l'aprenentatge en línia, més enllà de la situació de pandèmia (Anderson, Imdieke & Standerford, 2011).

2. Objectius

L'objectiu d'aquest estudi és avaluar l'experiència educativa de l'educació a distància durant la pandèmia de la COVID-19 en estudiants universitaris d'enginyeria de l'Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa (ESEIAAT). Per altra banda,

l'estudi busca identificar bones pràctiques per tal de millorar l'experiència de la docència en línia en els estudis d'enginyeria a distància.

El resultat d'aquest estudi serà de valor per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i l'ESEIAAT per tal de comprendre com s'han sentit els i les estudiants d'aquesta universitat durant les classes a distància i identificar possibles aspectes de millora. Per altra banda, tant els resultats com les bones pràctiques identificades aportaran informació d'interès global dins l'àmbit acadèmic d'estudis universitaris d'enginyeria.

3. Metodologia

La investigació s'ha realitzat a partir d'una enquesta anònima que s'ha distribuït a estudiants de segon, tercer i quart curs del grau d'Enginyeria en Disseny Industrial i Desenvolupament del Producte de l'ESEIAAT. Aquesta enquesta es va distribuir el 3 de juny del 2020, aproximadament 3 mesos després que es decretés l'estat d'alarma i les classes passessin a fer-se de manera no presencial. Aquest temps fa que els i les estudiants hagin estat exposats/des a l'experiència d'aprenentatge en línia un temps raonable per tal de poder respondre l'enquesta. Han contestat un total de 122 estudiants, el 18,0% (n=22) de segon curs, el 50,8% (n=62) de tercer curs i el 31,1% (n=38) de quart curs.

L'enquesta s'ha distribuït en línia i inclou preguntes relacionades amb les condicions de l'espai d'estudi, l'adaptació de les assignatures al format en línia i la resposta de la universitat i el professorat a la situació de pandèmia. Per altra banda, també incorpora una pregunta oberta per tal de recollir les bones pràctiques que els docents han dut a terme durant la docència no presencial que han ajudat l'estudiantat en el seu aprenentatge.

4. Resultats i discussió

4.1. Condicions espai d'estudi

El 98,4% dels/les estudiants indiquen que han seguit les classes en una casa o pis amb la família i només l'1,6% ho han fet des d'un pis d'estudiants. El 64,8% han seguit les classes des de la seva habitació, el 20,5% des d'un estudi o despatx, el 13,9% des d'una zona comuna de la casa i un/a estudiant indica que ha seguit les classes des de “totes (les estances), en funció de wifi o si molestava a la meua família”. En relació amb l'adequació de l'espai d'estudi i les condicions d'estudi, el 58,2% dels/les estudiants indiquen que les seves condicions pel que fa a l'espai d'estudi han estat adequades.

El 83,6% han contestat que han seguit les classes majoritàriament des d'un ordinador portàtil i l'11,5% mitjançant un ordinador de sobretaula. Per altra banda, el 2,5% ho ha fet majoritàriament des d'una tauleta i el 0,8% des del telèfon mòbil. Finalment, dos estudiants indiquen que han alternat l'ordinador amb la tauleta i/o el telèfon mòbil. Pel que fa al fet d'haver de compartir el dispositiu amb altres membres de la família o persones, el 79,5% indica que només l'han utilitzat ells/elles, el 18% que l'han hagut de compartir esporàdicament i el 2,5% que l'han hagut de compartir regularment.

En relació amb els problemes informàtics o problemes de connexió a internet que han dificultat el seguiment de les assignatures, el 50% dels/les estudiants indica que han tingut alguna vegada problemes informàtics i el 9% sovint, mentre que el 54,9% indiquen que han tingut problemes de connexió a internet alguna vegada i el 18,9% sovint.

Aquestes dades indiquen que malgrat que més de la meitat dels/les estudiants hagin disposat d'un bon espai d'estudi, hi ha un gran nombre que pensen que les condicions en el seu cas no han estat adequades, i per tant, en futurs estudis caldria aprofundir per saber quines han estat les causes. Tanmateix, tenint en compte els factors ja identificats en la literatura (Son et al., 2020; Gelles et al., 2020; Driessen et al., 2020;

Aristovnik et al., 2020), es pot hipotetitzar que pot tenir relació amb el fet que gairebé el 14% dels/les estudiants han hagut de fer les classes en una zona comuna de la casa, amb el que això comporta pel que fa al soroll, interrupcions i distraccions. Per altra banda, no tots/es disposaven d'un ordinador i alguns/es l'han hagut de compartir, a més dels problemes informàtics i d'internet que alguns/es han experimentat. En aquest cas, la universitat o els professors i professores de les assignatures podrien consultar de quines condicions disposen els i les estudiants per tal de preparar les assignatures a distància tenint en compte possibles limitacions i oferir l'ajuda necessària, com per exemple cedir ordinadors a aquells/es estudiants que no disposin d'un dispositiu adequat per poder seguir les classes.

4.2. Adaptació de la docència al format en línia

Tal com es mostra en la Figura 1, més de la meitat dels/les estudiants pensen que les classes (57,4%) i que els mètodes d'avaluació (56,6%) s'han adaptat correctament. A més, el 64% indiquen que han pogut seguir el curs correctament i el 57,4% que han rebut el suport necessari dels professors i professores.

Tot i que les dades són positives, molts dels percentatges són propers al 50%, pel que el nombre d'estudiants satisfets/es amb cada un dels factors en relació amb l'adaptació de la docència és molt semblant al nombre d'estudiants que no estan satisfets/es. Això fa pensar que tot i que s'ha dut a terme una adaptació que ha permès a la majoria dels/les estudiants seguir el curs acadèmic, cal analitzar amb deteniment com es podrien millorar les classes i mètodes d'avaluació al format en línia i donar un major suport a l'estudiantat durant la docència a distància per millorar l'experiència dels/les estudiants durant l'educació en línia.

Pel que fa al temps dedicat a les assignatures, el 69,7% dels/les estudiants indica que ha augmentat. Aquest percentatge és molt elevat pel que és important considerar-ho de cara a futures docències en línia.

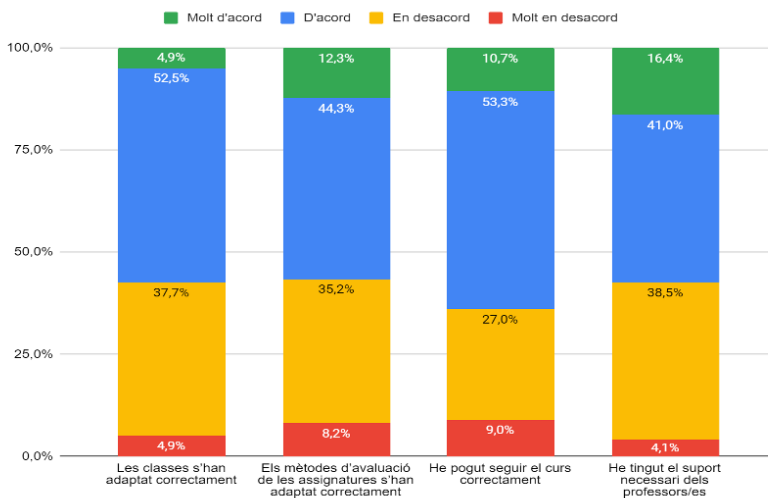


Figura 1. Resultats variables de l'adaptació a la docència.

En les investigacions en les quals també s'ha reportat un augment en la càrrega de treball, s'han identificat com a factors el fet d'haver comprimit el temari en el temps restant després de l'aturada de la docència a l'inici de la pandèmia, mantenint totes les tasques o fins i tot augmentant-les. Per contra, els i les estudiants esperaven que les classes s'adaptessin o inclús es reduís la càrrega de treball de les assignatures considerant les condicions de pandèmia i la falta d'ajuda o suport presencial per part del professorat, sobretot en la resolució de problemes, ja que al no disposar del/la professor/a a l'aula la resolució de dubtes no és instantània (2)(3). Per adreçar aquesta qüestió, serà rellevant treballar la correcta adaptació de les assignatures al format a distància i temps disponible, tenint en compte que la situació d'alerta sanitària suposa altres càrregues per l'alumnat, com per exemple les emocionals o derivades de la situació sanitària. Per altra banda, caldrà reforçar el contacte professor/a-alumne/a, sobretot pel que fa a la resolució de dubtes.

4.3. Valoració resposta universitat

En un moment de tanta incertesa com ho ha estat la pandèmia de la COVID-19, és molt important que tant les universitats com el professorat informin correctament a l'estudiantat sobre el procediment que se seguirà i els canvis en les assignatures respecte a la docència presencial. Tal com es mostra en la Figura 2, gairebé el 80% dels alumnes pensen que la resposta de la universitat davant la pandèmia ha estat bona o molt bona (78,7%) i que la universitat ha donat la informació necessària en tot moment (78,7%).

Pel que fa al professorat, tot i que els percentatges es reduïxen una mica, continuen sent molt positius (Figura 3). El 70,5% pensen que la resposta del professorat davant la situació de pandèmia ha estat bona o molt bona i el 57,3% que han donat la informació necessària en tot moment.

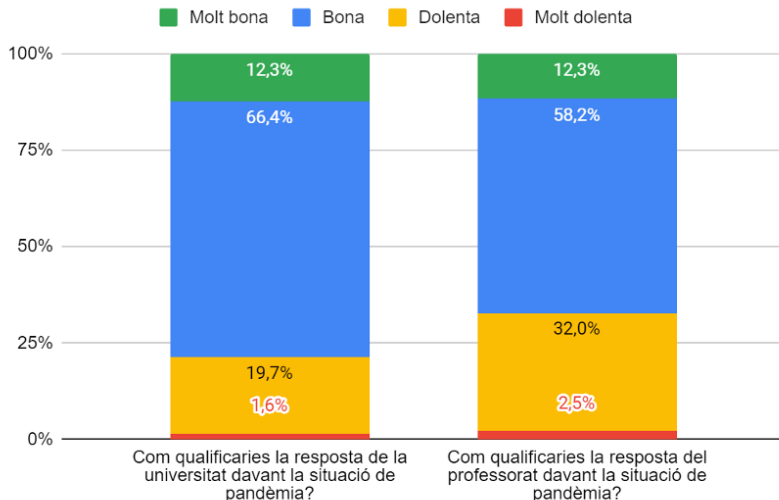


Figura 2. Resultats de la resposta de la universitat.

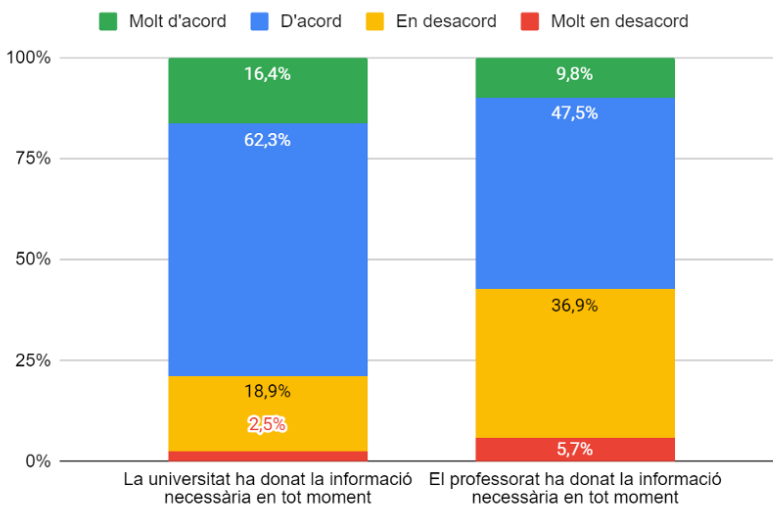


Figura 3. Resultats de la resposta del professorat.

Aquestes dades reflecteixen que l'alumnat percep de manera molt positiva com la universitat i el professorat ha reaccionat a la situació de pandèmia.

En el cas de la informació que ha donat el professorat, caldria avaluar quina és la informació que els/les estudiants esperaven o els hagués agradat rebre per part del professorat de les assignatures per tal de millorar la comunicació i en conseqüència, la satisfacció en aquest aspecte.

4.4. Millors pràctiques durant la docència en línia

Finalment, en la pregunta oberta del qüestionari l'alumnat ha identificat diferents accions i iniciatives que ha dut a terme el professorat de les diferents assignatures que els ha ajudat durant la docència a distància. Les més rellevants són:

- **Gravar les classes i penjar-les:** Els/les alumnes expliquen que els ha ajudat que les classes sincròniques s'enregistressin per tal de poder repassar el temari posteriorment, p. ex.: “Gravar les classes i penjar-les posteriorment a Atenea. Va molt bé per repassar coses que no han quedat clares o per poder completar els apunts amb més calma”.

- **Resposta ràpida:** En molts casos es parla sobre la necessitat de rebre una resposta ràpida als correus o dubtes plantejats, p. ex.: “La resposta ràpida a emails s’agraeix vist que ens trobem sols davant situacions que a classe es solucionen ràpid, però sols a casa es fa més difícil”.

- **Tracte proper:** Es valoren aquells/es professors/es que han donat un tracte proper i han estat atents/es. p. ex.: “*Ser positiu, agradable i generar un entorn de treball una mica comunicatiu*”.

- **Consultes individuals o en grups reduïts:** Una iniciativa que s’ha destacat han estat les tutories individuals o les sessions amb grups reduïts per consultar dubtes, p. ex.: “*La possibilitat de fer sales de meet reduïdes amb el grup de treball o individuals per tal de resoldre dubtes de manera efectiva*”.

- **Missatgeria instantània:** El professorat d’alguna de les assignatures ha obert canals de comunicació fent ús de les eines de missatgeria instantània com per exemple Whatsapp. Aquest fet ha tingut molta bona rebuda, ja que ha permès una comunicació més ràpida entre docents i alumnes, p. ex.: “*Poder contactar via whatsapp amb un professor donava més facilitat d’accés i et senties més segur, ja que et contestava els dubtes molt ràpid*”.

- **Exercicis resolts i vídeos de suport:** Finalment, s’ha valorat positivament el fet de compartir exercicis resolts i vídeos de suport per tal de reforçar les classes pràctiques p. ex.: “Penjar les solucions o almenys els resultats de les col·leccions de problemes és una gran ajuda. Ja que si estem a classe, podem anar preguntant al professor, podem preguntar a molts companys... però estant a casa sola, la vida

social ha disminuït notòriament, i et trobes que no pots preguntar a ningú ni res, per tant almenys saber que et pots anar autocorregint és molt profitós”.

5. Conclusions

La pandèmia de la COVID-19 ha requerit una ràpida adaptació de la societat a tots els nivells. En l'àmbit de l'educació les institucions han hagut de transformar els sistemes educatius i traslladar-los a models en línia. En molts casos el professorat ha disposat de poc més d'una setmana per canviar completament les classes i la manera d'ensenyar. Aquest canvi inesperat ha generat molta incertesa i la necessitat de realitzar estudis per analitzar l'impacte que aquest ha tingut en l'aprenentatge de l'alumnat.

Els resultats d'aquest estudi destaquen que malgrat la poca preparació i el poc temps per fer la transició a la docència a distància, els/les estudiants se senten satisfets/es amb la resposta de la universitat i el professorat. En general, la valoració de com s'han adaptat les assignatures i els mètodes d'avaluació és positiva així com el suport que han rebut per part del professorat, cosa que els ha permès seguir el curs correctament. Per altra banda, en general els i les estudiants han disposat d'unes condicions de l'espai d'estudi adequades. No obstant això, la investigació identifica alguns punts interessants a tenir en compte en futures docències en línia, com per exemple la percepció d'augment d'hores dedicades a les assignatures o el suport i informació que els/les estudiants esperen rebre dels seus professors/es. Per altra banda, també s'exposen bones pràctiques i recomanacions que poden ajudar a professors/es i institucions a millorar els sistemes de docència en línia, més enllà de la situació actual de pandèmia i fins i tot, pràctiques que es podrien incorporar en la docència presencial.

Referències

- ALNUSAIRAT, S.; AL MAANI, D.; & AL-JOKHADAR, A. (2020). Architecture students' satisfaction with and perceptions of online design studios during COVID-19 lockdown: the case of Jordan universities. *International Journal of Architectural Research*. Emerald Group Holdings Ltd., Vol. ahead-of-p. <https://doi.org/10.1108/ARCH-09-2020-0195>
- ANDERSON, D.; IMDIEKE, S.; & STANDERFORD, N. S. (2011). Feedback Please: Studying Self in the Online Classroom. *International Journal*, 4(1).
- ARISTOVNIK, A. et al. (2020). Impacts of the COVID-19 pandemic on life of higher education students: A global perspective. *Sustainability*, 12(20), 1-34. <https://doi.org/10.3390/su12208438>
- DRIESEN, E. et al. (2020). Learning principles of evolution during a crisis: An exploratory analysis of student barriers one week and one month into the COVID-19 pandemic. *Ecology and Evolution*, 10(22), 12431-12436. <https://doi.org/10.1002/ece3.6741>
- GELLES, L.A. et al. (2020). Compassionate flexibility and self-discipline: Student adaptation to emergency remote teaching in an integrated engineering energy course during COVID-19. *Education Sciences*, 10(11), 1-23. <https://doi.org/10.3390/educsci10110304>
- JACQUES, S.; OUAHABI, A.; & LEQUEU, T. (2020). Remote Knowledge Acquisition and Assessment During the COVID-19 Pandemic. *International Journal of Engineering Pedagogy (ijEP)*, 10(6), 120. <https://doi.org/10.3991/ijep.v10i6.16205>
- LINH P; D.; & TRANG T.; N. (2020). Pandemic, social distancing, and social work education: students' satisfaction with online education in Vietnam. *Social Work Education*. Routledge, 39(8), 1074-1083. <https://doi.org/10.1080/02615479.2020.1823365>
- PULJAK, L. et al. (2020). Attitudes and concerns of undergraduate university health sciences students in Croatia regarding complete switch to e-learning during COVID-19 pandemic: a survey. *BMC Medical Education*, 20(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02343-7>
- SON, C. et al. (2020). Effects of COVID-19 on college students' mental health in the United States: Interview survey study. *Journal of Medical Internet Research*. JMIR Publications, 22(9), e21279. <https://doi.org/10.2196/21279>
- UNESCO (2020). COVID-19 and higher education: Today and tomorrow. Impact Analysis, Policy Responses and Recommendations. *International Institute for Higher Education in Latin America and the Caribbean*.

L'Estanyol de Santa Fe. Passat, Present i Futur d'una Obra d'Enginyeria Hidràulica al Parc Natural Reserva de la Biosfera del Montseny

Oscar Farrerons Vidal, Carles Ferrer Boix

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

Resum

L'Estanyol de Santa Fe del Montseny va ser una infraestructura hidràulica imprescindible per l'arrencada turística de la vall de Santa Fe, juntament amb el Gran Hotel. Produïa electricitat amb una conducció d'aigua que arribava a la Fabriqueta, situada a la cua del pantà Gros, que es va construir després. Avui l'Estanyol s'ha convertit amb una zona humida amb bosc de ribera, un espai d'especial valor ecològic. Tanmateix, aquesta zona humida no té un origen natural sinó que s'ha creat de forma artificial, degut a la construcció de la resclosa que va afavorir la sedimentació de material. Aquesta acumulació de material sòlid és estimada per mitjà d'un model numèric simplificat basat en les equacions que descriuen els processos d'erosió, transport i sedimentació.

Abstract

The weir of l'Estanyol of Santa Fe del Montseny was a necessary hydraulic infrastructure to develop the touristic industry in Santa Fe Valley. It was built together with the Gran Hotel. The weir was used to generate electric power by means of a pipeline that reached la Fabriqueta, the power plant station located at the tail of the Santa Fe reservoir, built downstream some time later. Nowadays, l'Estanyol is a wetland environment with riparian forest, and constitutes an area with special ecological value. However, this area was not created naturally, but artificially due to the construction of the weir, which in turn, enhanced the accumulation of sediment within the upstream impoundment. The

sedimentation of material therein has been estimated by means of a simplified numerical model, based on equations that describe erosion, transport and sedimentation processes in rivers.

1. Situació

Santa Fe és una vall situada al sector oriental del Parc Natural Reserva de la Biosfera del Montseny, majoritàriament al municipi de Fogars de Montclús, però que per la banda nord-est arriba al terme d'Arbúcies, pel sud-est a Riells i Viabrea, i pel sud a Gualba. La vall es troba suspesa a una altitud mitjana de 1.150 m, emmarcada pel turó de Morou (1304 m) a l'est, i per la carena muntanyosa del Turó de l'Home (1706 m) i les Agudes (1705 m) a l'oest. La seva extensió superficial és d'aproximadament 610 Ha, on es reparteix un petit veïnat amb unes poques cases on, segons les darreres dades estadístiques oficials, hi viuen de manera permanent una dotzena de persones. La vall es caracteritza per una bellesa de reconegut prestigi que atrau força visitants, i per una abundosa relació amb l'aigua, ja sigui perquè hi ha documentades més de trenta fonts (el que suposa un quocient de cinc fonts per quilòmetre quadrat, cosa difícil de trobar enlloc més), ja sigui per una pluviometria que supera els 1300 l/m² anuals, o pel famós embassament de Santa Fe. Travessa la vall la riera de Santa Fe, amb origen a la font de Passavets, que aigües avall rep el nom de riera de Gualba.

2. Energia hidràulica a Santa Fe

Des de l'època medieval hi ha constància documentada de recs i canalitzacions per l'aprofitament de l'aigua de la riera per regar l'agricultura que es plantava als bancals de la vall. També és molt antic l'ús de l'aigua com a font d'energia hidràulica pels molins fariners, drapers i, a partir del segle XVIII, els molins paperers. El primer molí documentat és al 1377 al Salt d'Amunt (Portals, 2002).

Al segle XIX es van establir diverses indústries al voltant de la riera, com la fàbrica de pólvora del Gorg Negre, on va romandre fins a mitjans de segle, quan es va traslladar a la Fabriqueta (que protagonitzarà més endavant aquest relat). Entre 1843 i 1924 funcionarà també una fàbrica d'aram a partir de l'energia hidràulica i un petit embassament avui desaparegut (Portals, 2002).

A inicis de segle XX va cridar l'atenció el potencial de la riera de Santa Fe per la producció d'energia hidroelèctrica, tant per usos propis del desenvolupament turístic de la vall, com per abastir d'electricitat els municipis i les instal·lacions fabrils del Baix Montseny, en especial Sant Celoni.

3. L'Estanyol i La Fabriqueta

Al maig de 1916 s'inaugura la carretera de "la Costeu" (avui BV-5114), que uneix Sant Celoni amb la vall de Santa Fe, superant l'impressionant vessant estimbat comprès entre els actuals quilometres 17 i 19. Fins aleshores l'accés a la vall es produïa per l'antic camí de bast que, pujant pel poble de la Costa del Montseny, arribava al collet de Santa Helena i d'allà baixava fins la vall. La nova carretera inicià un procés d'explotació turística de la vall, amb la construcció del Gran Hotel Santa Fe, dos embassaments, i la instal·lació de tres centrals elèctriques al llarg de la riera. Els dos embassaments junts sols es poden veure avui en alguns plànols antics, d'abans 1940 (Figura 1).



Figura 1. Plànol de situació, data aproximada 1940.

A principis de segle XX, Ramon Muntaner i Vila, comte de la vall de

Canet, comprà a la família Alfaràs de Sant Celoni la vall de Santa Fe. Ramon Muntaner i el seu gendre Ricard de Capmany i Roura, preveient el futur aprofitament de l'aigua, presentà a les autoritats civils, abans de la finalització de les obres de la carretera, els projectes d'explotació hidràulica, que en data 30 d'octubre de 1908 varen rebre la concessió d'aigua pels aprofitaments hidràulics en una quantitat de 208 litres per segon, tot salvant els drets històrics dels regants.

Al 1915 es construï, al peu del Gran Hotel, l'Estanyol o Pantà Petit, embassament amb un mur de 19 metres d'alçada de pedra de granit local, amb la finalitat de produir electricitat per l'hotel i proximitats (Figura 2). L'Estanyol també es convertí en si mateix en un recurs turístic, com ho demostren les innombrables targetes postals que es van editar, en que l'hotel d'estil historicista dissenyat per l'arquitecte Domènech i Roura es reflecteix a les aigües de l'embassament mentre al fons s'aprecia una densa fageda al peu de les Agudes (Figura 3). El comte de la vall de Canet també aprofità per dur a terme un repoblament piscícola, portant truites salmonades de Sant Joan les Fonts, Alhama de Aragón i Suïssa (hemeroteca la Vanguardia, 14 de maig 1929), el que podria explicar l'origen al lòcton de la població de truita salmonada a la riera de Santa Fe (Sánchez Mateo et al., 2015).

L'aigua de l'Estanyol era conduïda mitjançant canalitzacions 270 metres riera avall fins la Fabriqueta, instal·lada a la cua del futur Pantà Gros, actualment l'únic embassament que queda en funcionament (Figura 4). L'electricitat es generava mitjançant una turbina de 45 cv i un alternador, el que donava suficient energia elèctrica per abastir el Gran Hotel, la serradora de Can Casades i el mas dels Camps (Sánchez Mateo et al., 2015).

4. L'Estanyol avui

Part de la barrera de l'embassament de l'Estanyol va col·lapsar a inicis dels anys 30. La Fabriqueta va deixar de produir electricitat al 1936. Amb

el pas de les dècades l'Estanyol es va anar reblint, acumulant sediments, i avui ha desaparegut com a làmina d'aigua i s'ha convertit en una zona humida amb bosc de ribera. Aquest espai ha estat tingut en compte en els diferents plans legals que s'han anat aprovant fins ara, des de l'inicial pla Especial del Parc (1977), el pla Especial de protecció del medi natural i del paisatge del Parc (2008), i el Pla de Conservació del Parc (2014). En el marc d'aquest darrer pla, poc després d'aprovar-lo es portaren a terme tasques forestals per afavorir els hàbitats aquàtics associats a l'antic Estanyol.

5. Eléctrica del Montseny S.A.

Ricard de Capmany constituí l'empresa "Eléctrica del Montseny S.A." als anys 20 amb seu a Barcelona, per explotar l'aprofitament hidroelèctric de l'Estanyol. L'empresa va ser activa fins 1932 quan va passar a mans de la societat "Eléctrica de Catalunya".

El col·lapse de l'Estanyol no es va arreglar ni va afectar l'empresa, perquè al 1933 s'inaugurà el Pantà Gros, amb una presa de 21 m d'alçada, 14 m de base i 170 m de llargada, amb una capacitat d'embassament de 900.000 m³ d'aigua. Encara avui funciona amb part de la maquinària original (Sánchez Mateo et al., 2015), i l'aigua produeix electricitat en dos salts situats riera a baix.

Al 1940 l'empresa titular de l'equipament hidroelèctric era "Saltos y explotacions del Montseny S.A." pertanyent a "Barcelona Traction Light and Power" companyia popularment anomenada "La Canadenc". L'any 1951 el grup es va declarar en fallida i els actius industrials van anar a parar a "Fuerzas Eléctricas de Catalunya (FECSA)". Després de varies vicissituds, l'empresa "Polígono Industrial Can Sedó SA (PICSSA)" adquirí els actius hidroelèctrics a Santa Fe, i va iniciar actuacions de reparació i manteniment consistents amb la impermeabilització de les filtracions, la rehabilitació de la coronació de la presa i del desguàs de fons, i finalment la col·locació d'una segona comporta i la instal·lació



Figura 2. L'Estanyol mirant cap a sud
(Francesc Blasi Vallespinosa, 1924, Arxiu
Fotogràfic CEC).



Figura 3. L'Estanyol mirant a
nord, amb el Gran Hotel
(Oscar Torras Buxeda, 1913,
AFCEC).



Figura 4. Des de la barrera del Pantà Gros mirant la
Fabriqueta
(Joan Lopez Cortijo, gener 2019).

d'un grup electrogen i il·luminació de la galeria. Actualment continuen funcionant les dos centrals aigües avall del Pantà Gros.

6. Problemàtica actual i actuacions futures

Actualment l'aigua que s'embassa a les restes de l'Estanyol desguassa per un punt ruïnós de l'antiga barrera des del punt de vista enginyeril, però de bellesa poètica des del punt de vista fotogràfic.

6.1. Ompliment del vas i situació actual

Una resclosa com la de l'Estanyol suposa un obstacle per a la fauna en general i pels peixos en particular. També ho és per a la circulació del sediment que transporta el riu (transport sòlid). És aquest material sòlid el que sense la resclosa circularia aigua avall durant episodis de crescuda i que un cop construïda s'acumula al vas aigua amunt de l'estructura fins que finalment, amb el pas del temps, s'omple de sediment. És doncs aquest sediment, provinent de trams aigua amunt de la riera de Sant Fe i de la capçalera de la conca, el que s'ha anat acumulant aigua amunt de la resclosa de l'Estanyol i el que és responsable doncs de la configuració actual de la zona.

El procés físic que explica l'ompliment del vas aigua amunt d'una resclosa està relacionat amb la reducció de la tensió que l'aigua exerceix sobre el fons de la llera a mesura que l'aigua s'apropa a la resclosa. Aquesta disminució de la tensió sobre el fons es manifesta a través d'una reducció gradual de la velocitat a mesura que l'aigua s'acosta a l'obstacle. És precisament la disminució de la tensió el procés que afavoreix que el sediment transportat pel riu quedi atrapat al vas aigua amunt de la resclosa. La magnitud i el ritme d'ompliment del vas depèn de la litologia de la conca, del règim hidrològic de la riera, del material característic de la llera, de les característiques del riu i de les de l'obstacle.

El material groller que és transportat pel riu (sorra i grava), procedent de trams superiors de la pròpia llera, dels marges del riu quan s'erosionen

o d'afluents situats aigua amunt, normalment circula saltant, o bé essent arrossegat, en quasi permanent contacte amb el fons de la llera. Per contra, el material més fi (llim i argila), provinent de l'erosió de la conca (càrrega de rentat), entra al riu amb l'escolament superficial i és transportat en suspensió, és a dir, sense estar en contacte amb el fons del riu. Aquests dos tipus de materials dicten com serà la composició del dipòsit de sediments que es formi aigua amunt de la resclosa, el qual serà un reflex de cadascun dels dos tipus de transport, la seva magnitud i de les característiques de la resclosa. Aquest dipòsit acostuma doncs a tenir una composició granulomètrica heterogènia. Així, és comú observar que existeix una classificació del sediment al llarg del vas aigua amunt de la resclosa: més fi com més a prop de la resclosa. De fet, és habitual que a la zona del vas més propera a la resclosa s'hi trobi material fi i fullaraca. Aquesta classificació del sediment depèn de la mida característica del material de la llera, de les característiques del riu (i.e. cabal, pendent, amplada) i de l'altura de l'obstacle (relativa a la grandària del riu). Quan més alta sigui la resclosa, més accentuada serà la classificació del material al llarg del vas. Al contrari, quan més baixa sigui la resclosa, més probable és que el sediment fi passi per sobre de la resclosa i no hi quedi retingut. En aquests casos, el dipòsit de sediment estarà format íntegrament pel material groller que circula com transport de fons (sorra i grava). És la situació típica dels rius de muntanya, com la riera de Santa Fe.

Per altra banda, l'acumulació de sediment al vas de la resclosa provoca que el tram aigua avall del riu experimenti un dèficit de sediment (el sediment que hauria de circular-hi, no ho fa precisament perquè ha estat atrapat aigua amunt de la resclosa). Aquest dèficit es manifesta, si la llera està formada per material al·luvial, a través d'un descens generalitzat del fons del riu (incisió).

La magnitud dels processos de transport, erosió i sedimentació a rius a l'entorn de rescloses es poden estimar numèricament, tot i la seva complexitat, a través de l'aplicació de models matemàtics (p.e. Ferrer-Boix et al., 2014). Aquests models conceptualitzen els aspectes més

importants d'aquests processos físics. Per aquesta comunicació, s'ha fet un càlcul aproximat del procés de sedimentació a la riera de Santa Fe a l'entorn de la resclosa de l'Estanyol. S'ha fet servir un model simplificat (Ferrer-Boix et al., 2016) modificat per a tenir en compte la presència de dues rescloses en un mateix tram: l'Estanyol i Santa Fe (Ferrer-Boix and Hassan, 2019). S'han tingut en compte les característiques físiques de la riera (amplada mitjana i pendent). L'estimació del cabal que posa en moviment el material del fons s'ha obtingut fent la hipòtesi que el pendent del riu es troba en equilibri (sense experimentar erosió ni sedimentació generalitzada). La Figura 5 il·lustra el resultat de la modelació del fons de la riera de Santa Fe al voltant de l'Estanyol i de l'embarcament gros de Santa Fe.

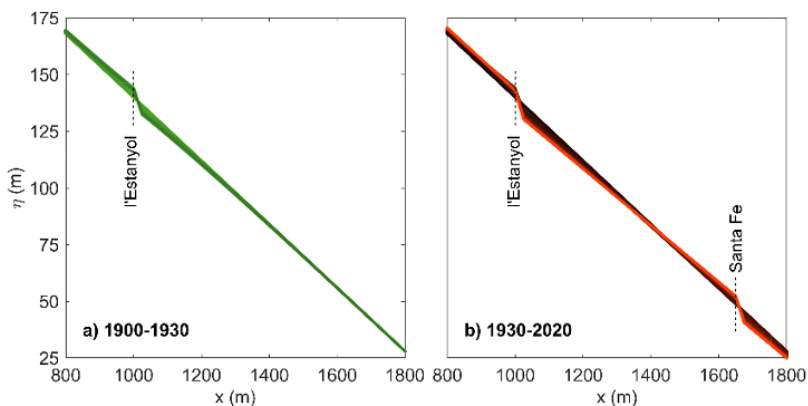


Figura 5. Perfils longitudinals de la riera de Santa Fe a l'entorn de la resclosa de l'Estanyol durant diferents períodes de temps.

En un primer estadi (entre 1915 i 1930) els resultats del model numèric indiquen com la resclosa de l'Estanyol propicia l'acumulació de sediment aigua amunt alhora que genera una erosió de la llera aigua avall

(Figura 5a). El col·lapse parcial de la resclosa de l'Estanyol, que s'assumeix que es produí l'any 1930, dona com a resultat una certa erosió del material prèviament acumulat a les immediateses de la resclosa i una sedimentació a l'extrem superior entre 1930 i 2020 (Figura 5b). Tres anys més tard del col·lapse de l'Estanyol, el 1933, es construeix la resclosa de l'embassament Gros de Santa Fe. Aquesta resclosa provoca que tot el material que aconseguix traspasar la resclosa de l'Estanyol s'acumuli a l'embassament de Santa Fe (Figura 5b). Tanmateix, fem notar que com el col·lapse va ser parcial, la resclosa de l'Estanyol continua retenint part del sediment que hi arriba, el que fa l'erosió del fons al peu de la resclosa es mantingui (Figura 5b). Així, l'acumulació de sediment aigua amunt de l'embassament de l'Estanyol provoca que l'embassament de Santa Fe romangui relativament buit de material sòlid tot i l'altura de la presa (19 m).

6.2. Actuacions futures

A l'entorn de l'Estanyol cal fer una gestió que tracti de potenciar els valors ambientals de la zona humida que s'hi ha creat. Sovint, i com a eina per a la restauració fluvial, es planteja d'enderrocar l'obstacle que suposa la resclosa. Aquestes operacions d'enretirada de rescloses impliquen l'alliberament del sediment acumulat cap a trams inferiors del riu, el que provoca un creixement temporal del fons en aquestes zones i una erosió del dipòsit de sediment que amb els anys s'havia format al vas de la resclosa. Si el dipòsit de sediment aigua amunt està format majoritàriament per material fi, també es poden esperar, a curt termini, danys ambientals per l'ompliment de pous per part del sediment fi alliberat i fins i tot l'asfixia de peixos i de macroinvertebrats. Tanmateix, els estudis fets fins ara (p.e. East et al., 2015) demostren que aquestes operacions milloren la qualitat hidromorfològica dels rius on es duen a terme, tot afavorint la creació de nous hàbitats pels peixos i altres espècies.

A la riera de Santa Fe, la presència de la resclosa homònima, situada només uns centenars de metres aigua avall de l'Estanyol, fa que tot el material sòlid que s'alliberés després de l'enderroc s'acumularia a l'embassament de Santa Fe. A curt i mitjà termini, el guany ambiental doncs d'aquesta enretirada quedaria circumscribit al tram entre la resclosa de l'Estanyol i la cua de l'embassament de Santa Fe. Per altra banda, el més probable és que, a curt termini també, la zona humida de l'Estanyol desaparegués i amb ella gran part dels actius ambientals que li donen valor. És per tots aquests motius que pensem que l'enderroc del que queda en peu de la resclosa de l'Estanyol no està ambientalment justificat. Com s'ha vist en els apartats anteriors, tampoc ho està des del punt de vista de la conservació del patrimoni industrial històric ni des del punt de vista social i paisatgístic. Pensem que la presència d'estructures que millorin la connectivitat fluvial longitudinal (p.e. escales de peixos) pot contribuir a millorar l'ecosistema fluvial, tant aigua amunt com aigua avall de les restes de l'estructura, sense comprometre els valors ambientals de la zona humida de l'Estanyol.

Referències

- DIPUTACIÓ DE BARCELONA, DIPUTACIÓ DE GIRONA (1977). Pla especial del Parc del Montseny. https://parcs.diba.cat/documents/155678/6905098/PlaEspecialMontseny1977_Text+Normatiu.pdf/a761490d-edd1-4940-afe4-0024352b84a5 (Consulta gener 2021).
- DIPUTACIÓ DE BARCELONA, DIPUTACIÓ DE GIRONA (2008). Pla Especial de protecció del medi natural i del paisatge del parc del Montseny. http://www.viladrau.cat/sites/default/files/parc_montseny_normativa_0.pdf (Consulta gener 2021).
- DIPUTACIÓ DE BARCELONA, DIPUTACIÓ DE GIRONA (2014). Barber, J. (direcció). Pla de Conservació del Parc del Montseny. <https://parcs.diba.cat/documents/155678/21045014/PlaConservacioMontseny.pdf/1f9cb5e7-50d7-4da2-8735-89ad4b52cfc3> (Consulta gener 2021).

- EAST, A. E. et al. (2015). Large-scale dam removal on the Elwha River, Washington, USA: river channel and floodplain geomorphic change. *Geomorphology*, 228, 765-786. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.08.028>
- FERRER-BOIX, C.; & HASSAN, M. (2019). Modelo matemático para cuantificar el sedimento acumulado en tramos de río con presas de madera. Restauraríos 2019. *III Congreso de Restauración Fluvial. Editado por Centro Ibérico de Restauración Fluvial y Conf. Hidrográfica del Segura*, 450-546, Murcia, 12-14 de junio.
- FERRER-BOIX, C.; MARTIN-VIDE, J. P.; & PARKER, G. (2014). Channel evolution after dam removal in a poorly sorted sediment mixture: Experiments and numerical model. *Water Resour. Res.*, 50. <https://doi.org/10.1002/2014WR015550>
- FERRER-BOIX, C.; CHARTRAND, S. M.; HASSAN, M.; & PARKER, G. (2016). On how spatial variations of channel width influence river profile curvature. *Geophys. Res. Lett.*, 43. <https://doi.org/10.1002/2016GL069824>
- PORTALS MARTÍ, J. (2002). Aprofitament hidroelèctric de les aigües de la Tordera per a usos industrials. Els projectes presentats per Domènec Sert i Ramon Tàpies l'any 1900. *Monografies del Montseny*, 17, 193-209.
- SÀNCHEZ MATEO, S.; PUJANTELL ALBÓS, J. A.; & BOADA JUNCÀ, M. (2015). La producció hidroelèctrica a la vall de Santa Fe. L'obtenció d'una nova font d'energia per al Baix Montseny a principis de segle XX. *Monografies del Montseny*, 30, 339-356.

Obtention of Fibers with High Cellulose Content by Means of Enzymatic and Chemical Treatments

Elisabet Quintana Vilajuana

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

Cristina Valls Vidal, M^a Blanca Roncero Vivero

CELBIOTECH_Paper Engineering Research Group, ESEIAAT, Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (UPC)

Resum

L'objectiu d'aquest treball és obtenir, a partir de cel·lulosa d'origen fuster, cel·lulosa per dissoldre, apte per ser utilitzada com a matèria primera en la fabricació de derivats de cel·lulosa. En aquest sentit, es proposa la combinació d'un tractament enzimàtic i químic tan en l'etapa de blanqueig (eliminació de lignina) com en l'etapa de purificació (eliminació d'hemicel·luloses). A continuació, la cel·lulosa per dissoldre obtinguda, es sotmet a reaccions d'acetil·lació i després es preparen films d'acetat com a exemple d'un producte final. Avaluant la qualitat final d'aquests films es pot concloure que les fibres per dissoldre presenten excel·lents propietats complint els requeriments de qualitat establerts. Aquests satisfactoris resultats es comparen amb films d'acetat obtinguts sota les mateixes condicions de reacció d'acetil·lació, però utilitzant com a referència una cel·lulosa per dissoldre procedent d'un procés industrial i convencional.

Abstract

The purpose of this work is to obtain dissolving cellulose fibers that are suitable for the manufacturing of cellulose derivatives. Therefore, the combination of enzymatic and chemical treatments during the bleaching stage (lignin removal) and purification stage (hemicellulose removal) is

proposed. The obtained dissolving cellulose was submitted to acetylation reactions, and then acetate films were prepared as an example of end product. Assessing the quality of acetate films, it was concluded that dissolving cellulose fibers had excellent properties and fulfilled the quality requirements. These satisfactory results were compared with acetate films obtained under same acetylation conditions, but the dissolving cellulose fibers used as a raw material came from a conventional and industrial process.

1. Introduction

Finite fossil fuel reserves and their negative impact on the environment require the urgent shift from fossil to biorenewable carbon feedstock. Lignocellulose is the most abundant biobased polymer on the Earth, it is sustainable, renewable and multifunctional. The main source come from trees, plants, crops or; but can also be produced by bacteria and algae.

Lignocellulose is comprised by three components: lignin, hemicellulose and cellulose. All of three components are covalent linked giving a complex and tridimensional network structure. Cellulose is the major component and is the building block of trees and plants. From a molecular point of view, cellulose is a linear homopolymer consisting of anhydro- β -D-glucopyranose units (AGU) that are linked together by (1- β -4) glycosidic bonds. Every AGU contains three hydroxyl groups in the positions C2, C3, and C6. All of the three hydroxyl groups are involved in this hydrogen bond network.

Wood and non-wood fibers are mainly used in paper and board production for example as a writing and printing paper, tissue or special packaging papers (FAO, 2019). However, the manufacturing of specialty cellulose products, although constitutes only a small share of the global production (about 3%), is another potential application that is gaining further interest.

These specialty cellulose products include regenerated cellulose (rayon, modal fibers or cellophane, which are used in the textile manufacturing) and cellulose derivatives (cellulose acetate, which is employed for cigarette filters, carboxymethylcellulose used as a coating for pills, or nitrocellulose used for the production of printing inks and cosmetics). In order to manufacture these kind of products, special pulp fibers named dissolving fibers are needed. Dissolving fibers are characterized by a high content of cellulose, low amount of hemicelluloses (< 10%) and traces of residual lignin, extractives and minerals.

The biomass source that is found in the nature that has high cellulose content is cotton. Unfortunately, cotton fibers cannot cover the current huge demand of dissolving fibers due to environmental and agricultural restrictions on cotton cultivation. Moreover, in the coming years the forecast of dissolving fibers will be increasing even more. This growth is attributed to an expanding market for textiles products due to an increasing demand in China and other Asian countries, as well as, the interest of cellulose to be used as alternative to synthetic fibers derived from petroleum.

Based on the previous observations, exists an important need to search for other cellulosic fibers from forest resources and new technological procedures that are able to produce dissolving fibers. The long-established procedures used to obtain dissolving fibers have some disadvantages in terms of economic cost, chemical consumption and production rate (Hillman, 2006). In the traditional and current process, when wood fibers are used as a raw material, a purification stage, between pulping and bleaching processes, is required. The purpose of this stage is to remove hemicellulose content as much as possible. This stage is usually carried out using sodium hydroxide at medium concentration (10% w/w) (Sixta 2006; Arnoul-Jarriault et al., 2014). Although it is very effective to dissolve hemicelluloses, then the accessibility of cellulose hydroxyl groups is negatively reduced giving an

end product with poor quality. However, it is known from the literature that this drawback can be avoided if the caustic treatment is combined with a specific enzymatic treatment (Gehmayr et al., 2011; Ibarra et al., 2010; Köpcke et al., 2010). The enzymes that can improve the process are named endoglucanases (EG) and they catalyze the hydrolysis of cellulose. Precisely, they randomly cleave β -1,4-glycosidic bonds in polysaccharide chains. So, endoglucanases (EG) have become popular since have the quality to improve pulp reactivity and, as a side effect, precisely adjust pulp viscosity.

The present work studied the conversion of unbleached wood fibers to biobleached dissolving cellulose fibers by means of chemoenzymatic treatments. Firstly, a biobleaching sequence was applied and then in order to achieve cellulose-dissolving grade a cold caustic extraction treatment followed by endoglucanase treatment was introduced. Endoglucanase action was evaluated in terms of Fock solubility, ^{13}C -CP/MAS NMR, water retention value (WRV), fiber morphology, carbohydrate composition and cellulose degradation. Then, the obtained biobleached dissolving fibers were investigated as far as their suitability to synthesize acetylated cellulose, a kind of specialty cellulose product. Acetylation is a common chemical modification in which acetyl groups (CH_3CO^-) react with the surface hydroxyl groups ($-\text{OH}$) of cellulose, making its surface less hydrophilic. The acetylation process depends on the fiber accessibility and the susceptibility of $-\text{OH}$ groups in the crystalline and less crystalline domains of cellulose (Kalia et al., 2014). The greater the accessibility, the easier it is for the reactants to diffuse into the interior of the fibers. This work, therefore, aims at determining if chemo-enzymatic dissolving fibers are a suitable alternative for the synthesis of materials with low hydrophilicity via homogeneous acetylation. So, samples obtained by homogeneous acetylation were used to prepare transparent films via solvent casting. Our results were compared to those obtained after acetylation of commercial, dissolving-grade fibers, used as reference.

2. Materials and methods

2.1. Pulp and treatments

As starting material, unbleached sulphite pulp was bleached at the laboratory scale with a laccase–violuric acid system and then complemented with a pressurized hydrogen peroxide stage (*LVAPO*) (Quintana et al., 2013). Afterwards, the resulting biobleached fibers, denoted here as *L*, for simplicity, were subjected to a cold caustic extraction treatment (*C*) followed by endoglucanase treatment (*E*) (resulting in fibers that are denoted thereafter as *L_{CE}*). The purpose of introducing an endoglucanase treatment was to improve fiber reactivity. By its side, cold caustic extraction was a purification stage where hemicelluloses were removed and, as a result, fiber quality was improved (Quintana et al., 2015a). Finally, the chemoenzymatic dissolving fibers were subjected to homogenous acetylation and the samples obtained were used to prepare transparent films via solvent casting (Quintana et al., 2018).

2.2. Analysis of properties

The cellulose acetate films were performed on a MTS 400/M vertical Tensile Tester, with a cross-head speed of 40 mm/min. Specimen strips presented 10 mm width and 40 cm length. The water contact angle, water drop test (Tappi standard T835 om-08), dry zerospan strength (ISO 15361:2000) and the acetyl group content (ASTM D871-96 (2010)) were also determined. The acetylated samples were also analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The results were compared to those obtained after acetylation of commercial, dissolving-grade fibers, used as reference.

In Figure 1 is shown the experimental plan followed in this study.

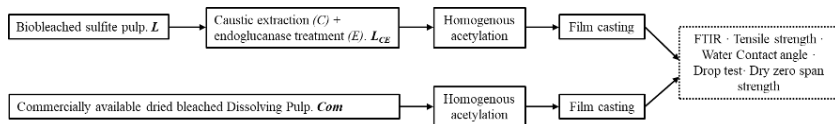


Figure 1. Outline of experimental procedures and samples studied. Bleached commercial dissolving pulps (*Com*) were used as a reference, and same homogeneous acetylation reactions were performed on such reference fibers.

3. Results and discussion

The characteristics of precursor fibers before the acetylation reaction are indicated in Table 1. Chemoenzymatic dissolving fibers (L_{CE}) and Commercial dissolving fibers (*Com*) presented same lignin content, as assessed by the kappa number, and similar Fock solubility and viscosity values. In terms of hemicellulose content, the results of all studied samples were below specification target. Commercial dissolving fibers (*Com*) exhibited the highest ISO brightness, while L_{CE} was slightly lower to specification limit but acceptable according to the application that is proposed for.

From these results, it is concluded that the chemoenzymatic treatments applied at the bleaching and purification stages let to obtain dissolving fibers comparable to available conventional commercial dissolving fibers with the advantage that a green technology was applied.

Then, the effect of homogeneous acetylation on the quality of the systems obtained from L_{CE} and *Com* was evaluated (Table 2 and Figure 2).

FTIR spectroscopy confirmed that acetylation reactions were substantial, as indicated by the fingerprint peak at 1730 cm^{-1} , since native cellulose does not have this functional group (Figure 2). The quantification of the degree of substitution by titration confirmed that the acetylation reaction was successfully achieved and similar acetylation

degrees for all studied fibers were found. Values between ~33 and ~36% of acetyl substituted groups were found (Table 2), indicating a high level of acetylation comparable to commercial available cellulose acetate (from Sigma-Aldrich ~ 39%). The excellent degree of acetylation (i.e. acetyl

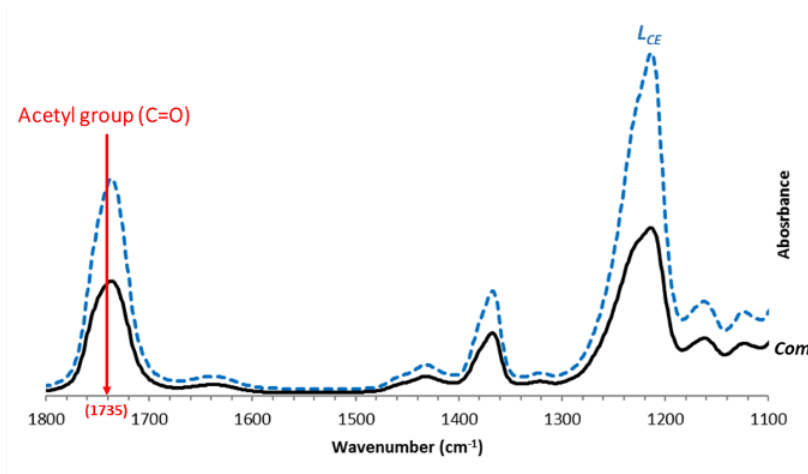


Figure 2. FTIR spectra for acetylated cellulose from L_{CE} and Com films.

	LCE	Com	Dissolving cellulose specifications
Kappa number	$<0.5 \pm 0$	<0.5	<1
ISO brightness (%)	83.7 ± 1.5	90.3 ± 0.1	>90
Viscosity (mL/g)	447 ± 18	476 ± 1	<500
Fock solubility (%)	71.5 ± 2.3	67.3 ± 2.1	> 67
Hemicellulose (%)	6.3	4.3	<10

Table 1. Main characteristics (mean \pm SD) of L_{CE} and Com reference.

	Acetyl groups (%)	Dry tensile strength index (N m/g)	Dry zero-span tensile strength (kN/cm)	Water drop test (s)	Contact angle (°)
LCE	35.5 ± 3.9	22 ± 11	0.07 ± 0.01	5435 ± 293	67 ± 4
Com	33.3 ± 4.4	67 ± 28	0.05 ± 0.006	5445 ± 507	67 ± 7

Table 2. Acetyl group % determined by the titration method and dry tensile strength index of films produced by solvent casting of *LCE* and *Com* samples after homogenous acetylation reaction.

group content) displayed by *LCE* sample was in agreement with the good reactivity data (~72%). Therefore, it is suggested that the chemoenzymatic treatment was able to improve the accessibility of hydroxyl groups and as a result greater dissolution behavior of fibers was obtained.

Fibers obtained after acetylation were freeze-dried, then dissolved in acetone and the resulting viscous solution was used to prepare films via solvent casting. As shown in Table 2, despite the fact that a similar acetyl content was measured for all samples, *Com* films presented a tensile strength three times higher than those measured for the samples acetylated after chemo-enzymatic treatment (*LCE*), this can be explained by the differences in fiber morphology of precursor fibers prior to acetylation. In terms of dry zero-span tensile strength, *Com* and *chemo-enzymatic acetylated fibers* showed values in the same range. As expected, the presence of acetyl groups reduced the hydrophilic character, giving a contact angle between 67° and 76°. Although high hydrophobicity was not achieved (contact angle <90°), water drops remained long time on the surface until complete absorption as WDT assay showed. Overall, cellulose acetate fibers with new functional groups and high strength-related properties were achieved.

4. Conclusions

A homogeneous phase acetylation reaction was studied from a commercial dissolving fiber grade (Com) and from a newly introduced fiber obtained by chemo-enzymatic treatment of sulfite fibers (*L_{CE}*). The enzymatically treated pulps displayed properties comparable to those of commercial dissolving pulps. In particular, it exhibited good solubility in acetone and produced transparent films (via solvent casting) with enhanced dry strength, less hydrophilic character and longtime absorption resistance. From these results, it is concluded that chemo-enzymatic dissolving fibers are suitable to manufacture a particular kind of specialty cellulose product with the advantage that green technologies were used during the upgrading process.

Acknowledgements

Authors are grateful to "Ministerio de Economía y Competitividad" (Spain) for their support in this work under the FILMBIOCEL (CTQ2016-77936-R funding also from the "Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER") and MICROBIOCEL (CTQ2017-84966-C2-1-R) projects.

References

- ARNOUL-JARRIAULT, B.; LACHENAL, D.; CHIRAT, C.; & HEUX, L. (2014). Upgrading Softwood Bleached Kraft Pulp to Dissolving Pulp by Cold Caustic Treatment and Acid-Hot Caustic Treatment. *Ind. Crops Prod.*, 65, 565-571. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.051>
- FAO. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- GEHMAYR, V.; SCHILD, G.; & SIXTA, H. (2011). A Precise Study on the Feasibility of Enzyme Treatments of a Kraft Pulp for Viscose Application. *Cellulose*, 18(2), 479-491. <https://doi.org/10.1007/s10570-010-9483-x>
- HILLMAN, D. (2006). Do Dissolving Pulps Really Dissolve? *Paper Asia*, 12-18.

- IBARRA, D.; KÖPCKE, V.; LARSSON, P. T.; JÄÄSKELÄINEN, A.-S.; & EK, M. (2010). Combination of Alkaline and Enzymatic Treatments as a Process for Upgrading Sisal Paper-Grade Pulp to Dissolving-Grade Pulp. *Bioresour. Technol.*, 101(19), 7416-7423. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.04.050>
- KALIA, S.; BOUFI, S.; CELLI, A.; & KANGO, S. (2014). Nanofibrillated Cellulose: Surface Modification and Potential Applications. *Colloid Polym. Sci.*, 292(1), 5-31. <https://doi.org/10.1007/s00396-013-3112-9>
- KÖPCKE, V.; IBARRA, D.; LARSSON, P. T.; & EK, M. (2010). Optimization of Treatment Sequences for the Production of Dissolving Pulp from Birch Kraft Pulp. *Nord. Pulp Pap. Res. J.*, 25(1), 31-38. <https://doi.org/10.3183/npprj-2010-25-01-p031-038>
- QUINTANA, E.; VALLS, C.; VIDAL, T.; & RONCERO, M. B. (2013). An Enzyme-Catalysed Bleaching Treatment to Meet Dissolving Pulp Characteristics for Cellulose Derivatives Applications. *Bioresour. Technol.*, 148, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.104>
- QUINTANA, E.; VALLS, C.; VIDAL, T.; & RONCERO, M. B. (2015). Comparative Evaluation of the Action of Two Different Endoglucanases. Part II: On a Biobleached Acid Sulphite Pulp. *Cellulose*, 22, 2081-2093. <https://doi.org/10.1007/s10570-015-0631-1>
- QUINTANA, E.; AGO, M.; VALLS, C.; RONCERO, M. B.; & ROJAS, O. J. (2018). Alternative chemo-enzymatic treatment for homogeneous and heterogeneous acetylation of wood fibers. *Cellulose*, 25(9). <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1947-4>
- SIXTA, H. (2006). *Handbook of Pulp*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co: KGaA, Weinheim, 1. <https://doi.org/10.1002/9783527619887>

Mejora de las Propiedades de Films de Nanocelulosa mediante la Adición de Plastificantes para su aplicación en la Industria del Embalaje de Alimentos

Julia Fernández-Santos, Cristina Valls, Oriol Cusola, M. Blanca Roncero

CELBIOTECH_Paper Engineering Research Group, ESEIAAT, Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (UPC)

Resumen

A partir de la mezcla de nanocelulosa cristalina (CNC) con varios aditivos naturales, se obtuvieron films con buenas propiedades barrera y mecánicas como posibles sustitutos de los plásticos convencionales derivados del petróleo en la industria del envasado de alimentos. Se examinó la influencia de la adición de una dosis del 25% de diferentes aditivos sobre los films resultantes. Los aditivos aplicados fueron el sorbitol, glicerol, maltitol, xilitol, manitol, gellan gum y etilenglicol. Tanto la resistencia a la tracción como el alargamiento, aumentaron con la adición de casi todos los plastificantes. Además, todos los aditivos disminuyeron la permeancia al aire y al agua. Los films que contienen sorbitol, xilitol y maltitol presentaron propiedades mejores propiedades barrera. El sorbitol y el Xilitol proporcionaron films con una resistencia total al oxígeno.

Abstract

Several mixtures of crystalline nanocellulose (CNC) with different natural additives were studied. Films with good barrier and mechanical properties were obtained as possible substitutes for conventional petroleum-derived plastics in the food packaging industry. The influence of the addition of different additives (25% w/w) on the resulting films was examined. The additives used were sorbitol, glycerol, maltitol, xylitol,

mannitol, gellan gum and ethylenglycol. Both tensile strength and elongation increased with the addition of most plasticizers. In addition, all the additives decreased the air and water permeance. Films containing sorbitol, xylitol and maltitol had higher barrier properties. Sorbitol and Xylitol provided films with total resistance to oxygen.

1. Introducción

El desarrollo de productos alternativos a los plásticos derivados del Petróleo se plantea como un desafío a nivel mundial y es el foco actual de investigación en diversas disciplinas científicas. El uso de productos innovadores y sostenibles obtenidos con procedimientos eficientes y utilizando recursos renovables, está cada vez más ligado a la calidad de vida (Tang, Sisler, Grishkewich & Tam, 2017). Son muchas las industrias que tienen el plástico como base en su producción, por ejemplo, la industria del envasado de alimentos. Como resultado, existen graves problemas ambientales y de salud, lo cual ha dado lugar a una preocupación en el ámbito de la seguridad alimentaria y la preservación del medio ambiente. En este contexto surge el desarrollo de biopolímeros como alternativas no tóxicas y biodegradables (Rhim, Hong, Park & Ng, 2006).

La celulosa es uno de los biopolímeros naturales más abundantes del planeta, por este motivo, y gracias a su fácil disponibilidad, la celulosa es utilizada como alternativa ecológica en diversas industrias; aunque su naturaleza hidrofílica y su estructura porosa suponen una limitación para numerosas aplicaciones (Herrera, Mathew & Oksman, 2017). La celulosa puede dar lugar a nanofibras de celulosa (CNF) y a nanocelulosa cristalina (CNC), dos formas de nanocelulosa que presentan propiedades muy interesantes, pudiendo aportar soluciones a las limitaciones que presenta la celulosa convencionalmente utilizada.

La CNC se puede obtener de diferentes fuentes, como algodón, fibra de kenaf, paja de trigo y fibra de madera (Beltramino, Roncero, Vidal & Valls, 2018; Csiszár & Nagy, 2017). El proceso de obtención de la CNC

implica la hidrólisis de la porción amorfa de la celulosa, generalmente con ácido sulfúrico, dejando solamente las nanoestructuras de la CNC (Grishkewich, Mohammed, Tang & Tam, 2017; Tang et al., 2017). La CNC posee una serie de propiedades mecánicas y químicas muy interesantes, como la alta resistencia a la tracción o la gran cantidad de grupos hidroxilos en su superficie (Lam, Male, Chong, Leung & Luong, 2012); esta última propiedad unida a su gran área de superficie, debido a su estructura dimensional, hacen de la CNC un material potencial para interaccionar con otras matrices y formar nanocomposites (Bagheri, Julkapli & Mansouri, 2017). La CNC se presenta como una materia prima potencial para su uso en la industria del embalaje, pero el problema es que los films de CNC son muy rígidos y frágiles, y, por tanto, difíciles de manipular. Esta deficiencia se ha abordado anteriormente mezclando la CNC con un plastificante adecuado (Csiszár & Nagy, 2017). En la bibliografía se ha observado el uso de diferentes plastificantes (a diferentes porcentajes añadidos) como: glicerol, sorbitol, xilitol, maltitol (Mathew & Dufresne, 2002) y gellan gum (Lee, Chen & Tsao, 2010). Estos plastificantes interactúan con los grupos hidroxilos de la CNC, aportando nuevas propiedades los films obtenidos (Csiszár & Nagy, 2017).

En el presente trabajo, se han seleccionado los plastificantes más destacados de la bibliografía descrita en este ámbito, con el fin de estudiar los efectos que estos tienen sobre diferentes propiedades de los films de CNC. Para ello, una dosis del 25% (peso/peso) de los siguientes aditivos ha sido estudiada: sorbitol (Sor), glicerol (Gli), maltitol (Mal), xilitol (Xil), manitol (Man), gellan gum (Gg) y ethilenglicol (Eg). Cada uno de estos aditivos podría producir un efecto diferente sobre las propiedades de los films, y, por tanto, se podría seleccionar el mejor plastificante en función de la propiedad final deseada. Para estudiar esta hipótesis, se han caracterizado los films en términos de resistencia y propiedades barrera.

2. Material y métodos

2.1. Materiales

La nanocelulosa cristalina (CNC), proporcionada por la Universidad de Maine (Maine, Estados Unidos), se utilizó como materia prima principal. Los plastificantes utilizados fueron: sorbitol, maltitol, xilitol y manitol de Acros Organics BVBA (Geel, Bélgica), glicerol y etilenglicol de Panreac Quimica Sau (Barcelona, España) y el gellan gum de Sigma-Aldrich SA (Madrid, España).

2.2. Obtención de los films

Se obtuvieron films con un espesor de aproximadamente 70 μm a partir de una suspensión CNC de 12,1% en peso, que se depositó sobre una superficie de plástico de poliestireno y se dejó evaporar en condiciones de humedad (50% HR) y temperatura (23 °C) controladas, durante aproximadamente 5 días. El film obtenido, sin adición de ningún aditivo, fue el film control utilizado a lo largo de este estudio.

Para superar la fragilidad de los films de CNC se utilizaron diferentes plastificantes: sorbitol, glicerol, maltitol, xilitol, manitol, gellan gum y etilenglicol y se aplicaron en un porcentaje del 25% del peso seco de CNC.

2.3. Caracterización de los films

2.3.1. Propiedades mecánicas

Para evaluar las propiedades mecánicas de los films obtenidos se analizó la resistencia a la tracción y el alargamiento utilizando un instrumento de control de calidad Metrotec T5K equipado con una celda de carga de 500N. La velocidad de carga fue de 10 mm / m.

2.3.2. *Propiedades barrera*

Para un estudio más amplio de las propiedades barrera, se midieron las propiedades barrera al aire, agua, oxígeno y vapor de agua.

La permeabilidad al aire se midió siguiendo la norma ISO 5636-3:2013, mediante el método Bendtsen. La absorción de agua se evaluó mediante la norma TAPPI T835, en la cual se deposita una gota de agua sobre la superficie del film y luego se mide el tiempo que tardó en desaparecer el brillo especular de la gota de agua. La permeancia al oxígeno se midió utilizando MOCON OX-TRAN®, Modelo 1/50, con una concentración de oxígeno del 100% a 23 °C de temperatura y una humedad relativa del 0, 20 y 40%. La tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR, water vapor transmission rate) de los films se midió de acuerdo con el procedimiento estándar ISO 2528 (2017) a 25 °C y a dos humedades relativas, 50% y 90% de HR.

3. Resultados y discusión

3.1. **Propiedades mecánicas: Resistencia a la tracción y alargamiento**

El efecto de los aditivos en términos de propiedades mecánicas se evaluó analizando la resistencia a la tracción y el alargamiento, con y sin aditivos. Para el uso a nivel industrial de los films de CNC debemos combatir la limitación que supone su fragilidad y su difícil manipulación. Agregando los plastificantes, se disminuirán las interacciones entre los cristales de la nanocelulosa, y por tanto obtendremos unos films menos frágiles, más flexibles, y, por tanto, más manipulables.

En la Figura 1 podemos observar cómo, tanto la resistencia a la tracción como el alargamiento, aumentan con la adición de casi todos los plastificantes. De hecho, los films que contenían los aditivos se manipularon más fácilmente. Csiszár y Nagy (2017) y Talja, Helén, Roos y Jouppila (2007) obtuvieron resultados similares al agregar plastificantes a films de CNC. Los aditivos que proporcionan mejor resistencia a la

tracción son el Gg, el Man, el Mal y el Sor. Nuestros resultados son coherentes con los reportados por otros autores: podemos observar que el Sor proporciona films más resistentes que el Gli (Talja et al., 2007). En relación al alargamiento, podemos observar (Figura 1), que todos los aditivos, excepto Man y Eg, aumentaron el alargamiento en relación al film control. Xil aumentó un 3 % el alargamiento, respecto al film control. Estos resultados son muy interesantes para la aplicabilidad de los films, ya que aumentar la extensibilidad de un film lo hace más plástico (Vishtal & Retulainen, 2014) y menos quebradizo.

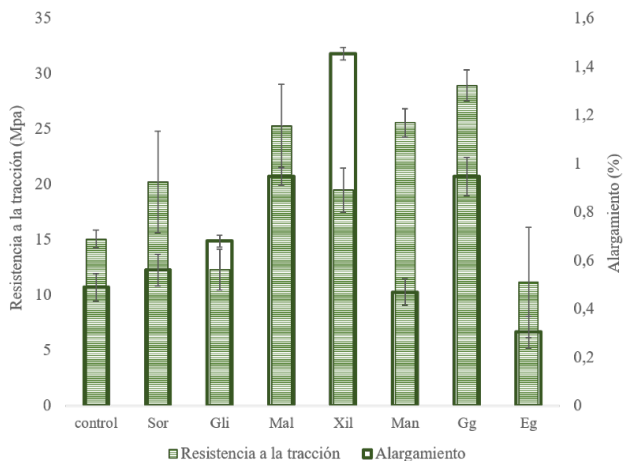


Figura 1. Resistencia a la tracción y alargamiento de los films de CNC con los diferentes aditivos y el film control.

3.2. Propiedades barrera

Actualmente, la gran mayoría de la industria de envasado de alimentos utiliza polímeros derivados del petróleo, ya que son económicos y presentan las propiedades necesarias de barrera contra líquidos, gases, etc. El problema emerge a nivel de salud de los consumidores y de los serios riesgos que suponen estos derivados del petróleo a nivel ambiental.

De ahí, el alto interés de mejorar las propiedades barrera de los films de nanocelulosa, en nuestro caso con la adición de los aditivos. Para un estudio integral del efecto de los aditivos sobre los films de CNC, en términos de propiedades barrera, se ha analizado la barrera al aire, al agua, al vapor de agua y al oxígeno.

3.2.1. Permeancia al aire

Una de las propiedades barrera que es interesante evaluar, ya que tiene una gran repercusión en el posible uso del film, es la permeancia al aire. Como se puede ver en la Figura 2, todas las películas de CNC con los diferentes aditivos disminuyen la permeancia al aire, es decir aumentan la resistencia de estas a la penetración del aire, en relación a la película control (CNC 100%, sin aditivo). Todos los aditivos han dado resultados similares entre ellos, siendo el que ha presentado el valor más bajo el Man. El resultado de la película control fue mucho menor que el de un papel procedente de fibra de madera, pero ligeramente mayor que el de películas de nanocelulosa bacteriana (Fillat et al., 2018).

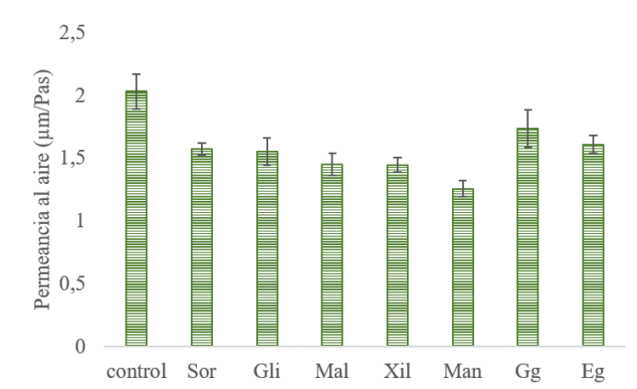


Figura 2. Permeancia al aire de los films de CNC con los diferentes aditivos y el film control.

3.2.2. Permeancia al agua

La alta afinidad de la celulosa por el agua restringe su uso en contenedores de líquidos, por lo que disminuir la capacidad de absorción del agua de las películas sería un parámetro muy interesante. Se ha evaluado la capacidad de absorción de las diferentes películas a través del “water drop test (WDT)”, método que indica el tiempo que necesita cada película para absorber una gota de agua. Como podemos observar en la Figura 3, los resultados obtenidos para las películas de CNC con los diferentes aditivos han mostrado una interesante mejora, en relación a la película control. Todos los aditivos aumentan el tiempo de absorción del agua.

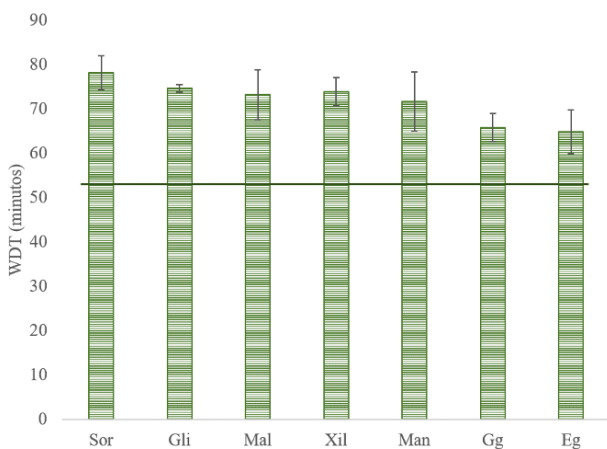


Figura 3. WDT (minutos) para los films de CNC que contenían los diferentes aditivos y para el film control (línea).

3.2.3. Permeancia al vapor de agua (WVTR)

Una de las limitaciones más evidentes de la aplicación de películas a base de polisacáridos para el envasado de alimentos es su alta sensibilidad al agua y al vapor de agua. En nuestro trabajo, al añadir los diferentes aditivos, hemos valorado que podrían mejorarse las propiedades de barrera, ya que los aditivos podrían ayudar a formar una red que sea más difícil de atravesar por las moléculas. Pero, hay que considerar que la hidrofilia de estos aditivos (debido a su número de grupos hidroxilo, OH), también puede influir. Se ha llevado a cabo un análisis del comportamiento del vapor de agua con los diferentes films con los aditivos, y sin ellos (film control de 100% CNC). Para un análisis más completo, se ha llevado a cabo el ensayo a dos humedades diferentes, una más suave (50%) y una más drástica (90%).

Como podemos observar en la Figura 4, todos los aditivos, excepto Gli y Eg, presentaron un WVTR por debajo del film control. Wang et al. (2018), también observaron que el glicerol aumentaba los valores de los films en relación al WVTR. Mal fue el aditivo que mostró el valor más bajo, seguido de Man, Sor, Xyl y Gg. Cuando hemos analizado el film de CNC bajo un 50% de humedad relativa, hemos obtenido un valor de $170 \text{ g} / \text{m}^2 * \text{día}$, valor similar al que han descrito otros autores para un film igualmente de CNC ($140 \text{ g} / \text{m}^2 * \text{día}$) (Tyagi, Lucia, Hubbe & Pal, 2019). Cuando se ha llevado a cabo el análisis bajo un 90% de humedad relativa, los valores obtenidos han sido más altos, como podemos observar en la Figura 4. Según Zumbé et al. la higroscopicidad de los aditivos aumenta a partir del 70% de humedad relativa (Zumbé, Lee & Storey, 2001). Bajo esta humedad drástica, el Mal ha seguido siendo el aditivo que ha presentado el valor más bajo de WVTR. Sólo Mal y Gg estaban por debajo del control en estas condiciones de humedad.

En relación al número de OH, se esperaba un aumento de WVTR al aumentar el número de OH, pero como puede observarse en la Figura 4, el efecto ha sido inverso. Se han obtenidos valores más altos de WVTR para los aditivos con menor cantidad de grupos OH. Otros autores han

reportado una tendencia similar. Así, Zumbé et al. (2001) obtuvieron una mayor higroscopicidad para Xil (5 OH) que para Sor (6 OH), Man (6 OH) o Mal (9 OH). Los valores más altos, tanto a 50% como a 90% de humedad relativa, se obtuvieron con el aditivo Gli (3 OH). Esta tendencia fue también observada en estudios reportados anteriormente, cuando se aplicó Gli a películas de diferentes materiales (Ili Balqis, Nor Khaizura, Russly & Nur Hanani, 2017; Tong, Xiao & Lim, 2013; Zhang & Han, 2006).

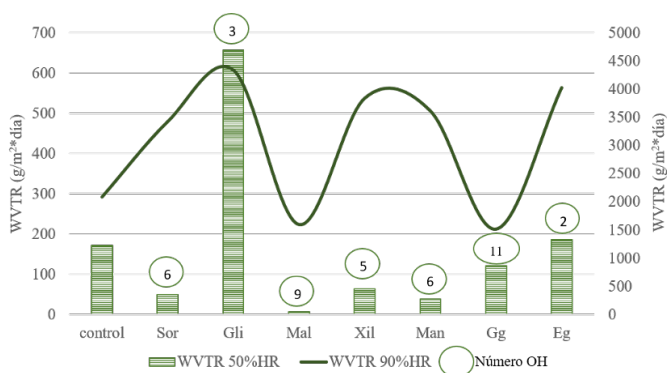


Figura 4. WVT para los films de CNC con los diferentes aditivos y el film control (CNC 100%).

3.2.4. Permeancia al oxígeno (OP)

En la industria del envasado de alimentos, trabajar con films de baja transmisión de oxígeno es fundamental. En este sentido, al añadir los diferentes aditivos se ha tratado de desarrollar films que cumplan con este requisito. Para llevar a cabo el ensayo de permeancia al oxígeno se han seleccionado los aditivos que se presentaron más interesantes en el resto de propiedades, además del film 100% CNC. Así, se seleccionaron los films que contenían Sor, Gli, Mal y Xil.

Como podemos observar en la Tabla 1 los valores de OP del control aumentaron considerablemente cuando se realizó el ensayo a 40% HR. Si nos centramos en los films que contienen los diferentes aditivos, se observa que Gli y Mal permiten el paso de oxígeno incluso a 0% HR. Mal mantiene el mismo valor de OP al aumentar la HR y con valores por debajo del control, mientras que Gli incrementa su permeancia al oxígeno con el aumento de HR, dando valores superiores al control. Sin embargo, Sor y Xyl presentan una total resistencia al paso de oxígeno a través del film, incluso con el incremento de la HR.

FILMS	HUMEDAD RELATIVA (%)		
	0	20	40
CNC 100% (control)	0	1806	39604.7
CNC-Sor	0	0	0
CNC-Gli	13981	21000	36331.70
CNC-Mal	1181.28	1100	915.83
CNC-Xil	0	0	0

Tabla 1. Resultados de permeancia al oxígeno, OP ($\text{cm}^3 \cdot \mu\text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$), de los diferentes films de CNC con los aditivos y el film control.

Se ha observado una correlación entre los resultados de WVTR y OP. Los films con los diferentes aditivos presentaron valores coherentes para ambas propiedades. Así, podemos confirmar la relación entre el número de OH de los aditivos y su comportamiento para ambas propiedades. A número de OH mayor, menor OP y menor WVTR. De mayor a menor: Gli (3 OH), Xil (5 OH), Sor (6 OH) y Mal (9 OH).

Los films obtenidos a partir de CNC y los diferentes aditivos se proponen como un material con buenas propiedades barrera, tanto al

oxígeno como al vapor de agua, lo cual resulta muy interesante para su posible aplicabilidad en la industria del embalaje de alimentos. Se requiere una transmisión de oxígeno entre $40\text{-}400 \text{ cm}^3 \cdot \mu\text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$ para considerar un film de alta barrera al oxígeno (Gao et al., 2020). Si consideramos los resultados obtenidos para nuestros films en relación a los valores de OP, podrían proponerse para su uso en alimentos como carne fresca, cacahuete y café, pues estos alimentos requieren valores de OP inferiores a 70, 50 y 1 $\text{cm}^3 \cdot \mu\text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$, respectivamente (Gao et al., 2020). Además, el film que contiene el Mal también cumpliría los requisitos en términos de WVTR.

4. Conclusiones

Se han caracterizado, en términos de sus propiedades mecánicas y barrera, los films obtenidos mediante la adición de un 25% en peso de plastificante (sorbitol glicerol, maltitol, xilitol, manitol, gellan gum y etilenglicol) a una dispersión de nanocelulosa cristalina (CNC). Todos los aditivos, excepto Gli y Eg, aumentaron la resistencia a la tracción de los films, en relación al control. En cuanto al alargamiento, todos los aditivos mejoraron los resultados, excepto Man y Eg; destacando el Xil, que aumentó el alargamiento un 3% en relación al control. Los resultados obtenidos muestran que todos los aditivos mejoraron los valores de permeancia al aire, es decir, los films que contenían los diferentes aditivos presentaron una mayor resistencia al paso del aire a través de ellas, en relación con el film control. Además, los films que contenían los aditivos aumentaron el tiempo necesario para absorber una gota de agua, en relación al film control. Aspecto muy interesante si pensamos en la aplicabilidad de estos films para contener alimentos que puedan aportar líquido al envase. Los films de CNC que tenían añadido Sor, Xil y Mal presentaron una mayor barrera al oxígeno que la película control, mostrando una resistencia total al oxígeno en el caso de Sor y Xil, y valores mucho más bajos en el caso de Mal. Mal y Gg mostraron valores de WVTR por debajo del control, tanto a humedad moderada (50%),

como drástica (90%). Se ha observado una correlación entre el número de OH de los aditivos y su comportamiento frente al vapor de agua y el oxígeno. A mayor número de OH, menor WVTR y menor OP. Bajo humedades moderadas, todos los aditivos (excepto Gli) presentan valores por debajo del control. Los resultados obtenidos se presentan muy interesantes si pensamos en la aplicabilidad de las películas obtenidas en la industria del envasado de alimentos.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida del Ministerio de Economía y Competitividad de España en los proyectos FILMBIOCEL (CTQ2016-77936-R, financiación también de FEDER) y MICROBIOCEL (CTQ2017-84966-C2-1-R). También quieren agradecer a la Beca Serra Hünter concedida a O. Cusola.

Referencias

- BAGHERI, S.; JULKAPLI, N. M.; & MANSOURI, N. (2017). Nanocrystalline Cellulose: Green , Multifunctional and Sustainable Nanomaterials. *Handbook of Composites from Renewable Materials*, 7, 523-556. <https://doi.org/10.1002/9781119441632.ch142>
- BELTRAMINO, F.; RONCERO, M. B.; VIDAL, T.; & VALLS, C. (2018). Facilitating the selection of raw materials: Evaluation of the effects of TCF and ECF bleaching sequences on different wood and non-wood pulps. *Afinidad*, 75(582), 91-96. Retrieved from <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/338228>
- CSISZÁR, E.; & NAGY, S. (2017). A comparative study on cellulose nanocrystals extracted from bleached cotton and flax and used for casting films with glycerol and sorbitol plasticisers. *Carbohydrate Polymers*, 174, 740-749. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.103>
- FILLAT, A.; MARTÍNEZ, J.; VALLS, C.; CUSOLA, O.; RONCERO, M. B.; VIDAL, T. et al. (2018). Bacterial cellulose for increasing barrier properties of paper products. *Cellulose*, 25(10), 6093-6105. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1967-0>

- GAO, Q.; LEI, M.; ZHOU, K.; LIU, X.; WANG, S.; & LI, H. (2020). Preparation of a microfibrillated cellulose/chitosan/polypyrrole film for Active Food Packaging. *Progress in Organic Coatings*, 149(November 2019), 105907. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105907>
- GRISHKEWICH, N.; MOHAMMED, N.; TANG, J.; & TAM, K. C. (2017). Recent advances in the application of cellulose nanocrystals. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 29, 32-45. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2017.01.005>
- HERRERA, M. A.; MATHEW, A. P.; & OKSMAN, K. (2017). Barrier and mechanical properties of plasticized and cross-linked nanocellulose coatings for paper packaging applications. *Cellulose*, 24(9), 3969-3980. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1405-8>
- ILI BALQIS, A. M.; NOR KHAIZURA, M. A. R.; RUSSLY, A. R.; & NUR HANANI, Z. A. (2017). Effects of plasticizers on the physicochemical properties of kappa-carrageenan films extracted from Eucheuma cottonii. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103(October), 721-732. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.105>
- LAM, E.; MALE, K. B.; CHONG, J. H.; LEUNG, A. C. W.; & LUONG, J. H. T. (2012). Applications of functionalized and nanoparticle-modified nanocrystalline cellulose. *Trends in Biotechnology*, 30(5), 283-290. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.02.001>
- LEE, M. W.; CHEN, H. J.; & TSAO, S. W. (2010). Preparation, characterization and biological properties of Gellan gum films with 1-ethyl-3-(3-dimethylaminopropyl)carbodiimide cross-linker. *Carbohydrate Polymers*, 82(3), 920-926. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.06.019>
- MATHEW, A. P.; & DUFRESNE, A. (2002). Plasticized waxy maize starch: Effect of polyols and relative humidity on material properties. *Biomacromolecules*, 3(5), 1101-1108. <https://doi.org/10.1021/bm020065p>
- RHIM, J.-W.; HONG, S.-I.; PARK, H.-M.; & NG, P. (2006). Preparation and Characterization of Chitosan-Based Nanocomposite Films with Antimicrobial Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 5814-5822. <https://doi.org/10.1021/jf060658h>
- TALJA, R. A.; HELÉN, H.; ROOS, Y. H.; & JOUPPIA, K. (2007). Effect of various polyols and polyol contents on physical and mechanical properties of potato starch-based films. *Carbohydrate Polymers*, 67(3), 288-295. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.05.019>
- TANG, J.; SISLER, J.; GRISHKEWICH, N.; & TAM, K. C. (2017). Functionalization of cellulose nanocrystals for advanced applications. *Journal of Colloid and Interface Science*, 494, 397-409. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.01.077>

- TONG, Q.; XIAO, Q.; & LIM, L. T. (2013). Effects of glycerol, sorbitol, xylitol and fructose plasticisers on mechanical and moisture barrier properties of pullulan-alginate-carboxymethylcellulose blend films. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(4), 870-878. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12039>
- TYAGI, P.; LUCIA, L. A.; HUBBE, M. A.; & PAL, L. (2019). Nanocellulose-based multilayer barrier coatings for gas, oil, and grease resistance. *Carbohydrate Polymers*, 206(October 2018), 281-288. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.10.114>
- VISHTAL, A.; & RETULAINEN, E. (2014). Improving the extensibility, wet web and dry strength of paper by addition of agar. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 29(03), 434-443. <https://doi.org/10.3183/nppri-2014-29-03-p434-443>
- WANG, J.; GARDNER, D. J.; STARK, N. M.; BOUSFIELD, D. W.; TAJVIDI, M.; & CAI, Z. (2018). Moisture and Oxygen Barrier Properties of Cellulose Nanomaterial-Based Films. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 6(1), 49-70. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03523>
- ZHANG, Y.; & HAN, J. H. (2006). Plasticization of pea starch films with monosaccharides and polyols. *Journal of Food Science*, 71(6), 253-261. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00075.x>
- ZUMBÉ, A.; LEE, A.; & STOREY, D. (2001). Polyols in confectionery: the route to sugar-free, reduced sugar and reduced calorie confectionery. *British Journal of Nutrition*, 85(S1), S31-S45. <https://doi.org/10.1079/BJN2000260>

Solar-Based Energy Technologies Potential to Meet a Hospital Energy Needs

Guillem Guerrero Almirall

ETSEIB. Màster Universitari en Enginyeria de l'Energia (UPC)

Alba Ramos Cabal

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

Abstract

This article analyses the potential of solar-based energy technologies to cover the electrical and thermal energy needs of a hospital. In particular, this work focusses on the case study of the *Hospital de Sant Pau*, in Barcelona, and it is based on previous work developed in the context of a research master's project at the UPC. Modular solar-based technologies available in the market are studied, as well as the weather conditions of the location and the hospital's energy demand. Three different solar-based technologies are identified as feasible to cover a percentage of the hospital energy needs: photovoltaic, thermal and hybrid solar panels. The potential of each one of the aforementioned technologies is studied separately; the number and distribution of each type of panels is calculated and their energy output throughout the year is calculated, by adjusting the orientation of the panels and the separation between the different rows. Once the yearly energy output for each technology is obtained, cost estimations and GHG emission savings calculations are conducted. The three alternatives prove to be economically viable and environmentally sustainable options for the case of study analysed, even if they can only cover a small percentage of the building's vast energy demand.

1. Introduction

One of the major concerns worldwide is climate change caused by global warming, and how to stop this temperature raise by eradicating, or at least mitigating, the greenhouse gases (GHG) emissions. Several countries have set as one of their main objectives the reduction of these gases on the short- and mid- term and the achievement of net-zero emissions on the long term.

In Spain, the installed power from renewable sources surpassed that of non-renewable sources in 2019, reaching a 50.1% of the total installed power in the country. This increment has been due mainly to the 89.2% increase in solar photovoltaic systems, which represent now an 8.1% of the installed power in the country. Solar thermal energy accounts for another 2.1% of the installed power, whilst the main renewable energy source in the country is wind power, representing a 23.4% of Spanish installed power [1]. In addition, about 38.9% of the 264,635 GWh of electrical energy generated in Spain in 2019 was obtained from renewable sources, according to *Red Eléctrica Española*. This percentage is slightly lower than that of 2018, since the hydraulic power plants generated a 28% less due to the low amount of precipitations. However, the rest of available renewable technologies

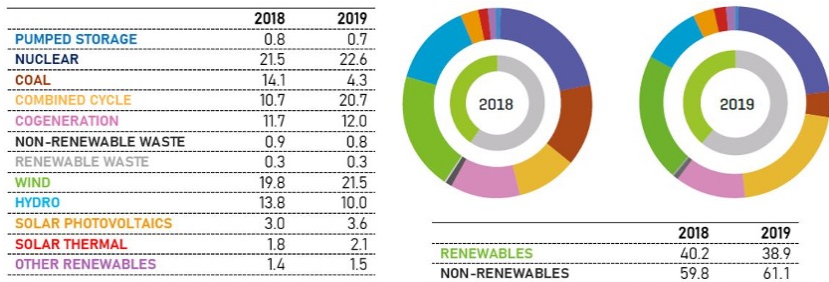


Figure 1. Electricity generation by source in Spain in 2018 and 2019 (Red Eléctrica de España, 2020a).

increased their production in a 10.5% in average in 2019. The electricity generation in Spain in 2018 and 2019 is shown in Figure 1, per source and in percentage over the total (Red Eléctrica de España, 2020a).

Another important fact in the Spanish electrical system is the substitution of an important part of coal- and fuel-powered generation (66% and 15% respectively) by combined cycle natural gas-fueled power plants. This technology is not renewable and accounts for more than a 40% of the greenhouse gases emissions of the electrical system, but its higher efficiency and far lower emission factor than that of coal- or fuel-powered power plants allows for a significant reduction of emissions (Red Eléctrica de España, 2020a; Red Eléctrica de España, 2020b).

Altogether, the emissions derived from the production of energy from coal, fuel and gas in Spain accounted for around 36.1 million tons of CO₂-equivalent in 2018, and 36.9 in 2019. This increase is almost negligible compared to the fact that these emissions were produced in the generation of a 28% more energy than in 2018 with these three technologies (Red Eléctrica de España, 2020a; Red Eléctrica de España, 2020b).

1.1. Energy consumption in buildings

Buildings are one of the biggest energy consumers worldwide, being responsible for about 40% energy and process-related GHG emissions (IEA, 2019; Nejat et al., 2015). In addition, worldwide buildings' energy demand is forecasted to continue growing in the coming decades (Husain et al., 2018), while buildings' GHG emissions must significantly decrease to be able to meet ambitions for a 1.5 °C world or below in 2050 (IEA, 2020; IPCC, 2018). In the European Union, the average yearly energy consumption for buildings is 180 kWh/m², and in Spain this number is slightly lower since it is located in the Mediterranean area's temperate climate (European Commission, 2020a).

From the above, the building sector is crucial for achieving global energy and environmental goals, therefore both energy efficiency in buildings and on-site renewable generation, are called to play a very important role in the next years (Un Environment and International Energy Agency, 2017; European Commission, 2019).

Among all types of buildings, hospitals are some with the highest energy consumption per surface unit, due to the fact that they work 24 hours a day and are equipped with high energy consumption equipment such as defibrillators, respirators, surgical units, amongst other machinery and equipment.

On the one hand, hospitals are generally located in -or very close to- urban areas, thus a renewable-based energy generation system in a hospital would not only lower the hospital's energy consumption and GHG emissions, but also those produced by the urban area where it is located. On the other hand, in urban areas, due to the high population density and low free space, most of the energy consumed is produced elsewhere. Consequently, this installation would not only reduce the external energy dependence of the hospital but also that of its area.

1.2. Modular solar-based technologies

There exist a number of renewable technologies but only a few present the potential for in-building clean energy generation. Among them, modular solar-based technologies, such as photovoltaic, solar-thermal, and hybrid photovoltaic-thermal technologies, are those presenting the greatest potential to allow on-site clean energy generation adapted to building designs (Attoye et al., 2017).

Solar Photovoltaic (PV) modules contain PV cells, that are electronic devices that allow electricity to be generated using solar energy. Given the reduced size of each PV cell, thus relatively low voltage and power output, they typically require to be connected to other cells in both series and parallel way to form a PV panel. These panels are usually put

together in the form of solar photovoltaic arrays, that can be adapted to cover a particular area (Messenger & Abtahi, 2017).

Another way of harnessing sun power is to extract it in the form of heat. In fact, even if photovoltaic panels pretend to extract electricity from the incoming energy, they will always heat up as well, making solar thermal power an attractive idea. In solar thermal modules, a cold heat transfer fluid enters the panel and flows through metallic tubes underneath the glass cover, gathering heat from the sunrays, which is transferred to the fluid. This behavior is analogue for solar thermal modules that work with air or a mixture of water and glycol, which are the most common heat transfer fluids for these applications (The Renewable Energy Hub, 2020).

Finally, there is yet another technology that allows both thermal and electrical energy harnessing from sunrays. This is the case of hybrid photovoltaic-thermal (PVT) solar panels. This technology works essentially as a conventional PV panel with an added heat-collecting system (underneath the PV layer) which not only allows the extraction of thermal energy, but may also cool down the PV panel, increasing its efficiency (Ramos, 2017).

1.3. Aim and scope

This article aims to analyse the potential of solar-based energy technologies to cover the electrical and thermal energy needs of a hospital. In particular, the feasibility from the techno-economical point of view of the installation of three solar-based energy generating technologies in the *Hospital de Sant Pau*, in Barcelona, is addressed. This work is based on previous research developed in the context of a master's thesis at the UPC.

2. Hospital de Sant Pau

The chosen building for this study is *Hospital de la Santa Creu i Sant Pau*, in Barcelona. This hospital consists mainly in two areas. The first one is of Modernist style, with decorated, two-story separate buildings amidst gardens. This area, designed by the architect *Lluís Domènech i Montaner* and inaugurated in 1930, was declared World Heritage by UNESCO in 1997 (World Heritage Convention of the Unesco, 2020). The second area was built in 2009 on the northern edge of the hospital's terrain. This new hospital area consists of five higher blocks, each one dedicated to different medical activities. This distribution can easily be identified in Figure 2.



Figure 2. Aerial picture of the hospital area.

Since the modernist area of the hospital is a World Heritage Site, it must be preserved and not modified in any way. Consequently, this study will only consider the new hospital area (considering then its buildings, roofs and gardens) as possible sites for the installation of energy-generating solar-based technologies.

2.1. Hospital's energy demand

The hospital is connected to the electrical national grid, which currently supplies 100% of its electricity demand. The thermal energy demand of the hospital is covered partly by burning natural gas and partly by electricity. The data of the annual electrical energy and natural gas demands were obtained from the hospital. These demands are of 40,890,758 kWh(e) and 1,122,079 kWh(th), respectively.

Regarding the electrical load of the hospital, due to the lack of more detailed data, the consumption distribution of a hospital in Madrid (Pedrajas, 2017) has been used to extrapolate a load curve of a hospital and obtain an estimated load curve for *Hospital de Sant Pau*. The estimated monthly electricity consumption of the *Hospital de Sant Pau* is presented in Table 1.

Month	Load [kWh(e)]	Month	Load [kWh(e)]
January	3,333,988	July	4,215,156
February	2,810,292	August	3,953,564
March	3,102,922	September	3,456,845
April	3,230,887	October	3,451,627
May	3,357,586	November	3,332,027
June	3,656,430	December	2,989,435

Table 1. Electricity consumption per month.

In the case of the thermal load, there was no consumption profile available; the only known data was the natural gas consumption per year. Moreover, this amount of energy doesn't correspond to the global thermal energy demand, since the ratio between electrical and thermal demand established in (Mínguez, 2018) suggests that the thermal

consumption of the hospital is around 12.75 GWh. This implies that the thermal energy consumed by the hospital is expected to be covered in around a 90% by electricity (such as electric boilers) and not only by natural gas.

3. Solar resource

The average annual global horizontal irradiation in Barcelona is about 1,610 kWh/m² (Global Solar Atlas, 2020). From the same source, Figure 3 showing the path of the sun throughout the year, especially considering the possible shade that the nearby environment may cause. Given the fact that the height of the new hospital is like that of the buildings nearby, they will not shade the panels as long as they are located on the roof of the hospital. Regarding hourly solar data of the hospital's location, it was obtained from (European Commission, 2020b).

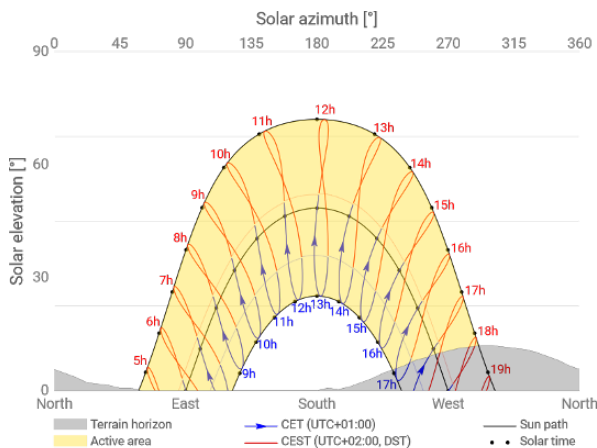


Figure 3. Trajectories of the sun throughout the year and shade of the nearby hills [18].

4. Solar technologies potential

Once obtained the energy demand of the hospital and the solar resource, in this section the potential of three different solar energy technologies to cover the *Hospital de la Pau* energy demand is analysed. The three different cases considered are: an installation based on PV panels, another based on solar thermal panels and a third one based on hybrid PVT panels.

4.1. Available area

The first thing that needs to be known to dimension the installation is the available area on which the panels can be installed. With this purpose, the various roofs of the hospital were analysed, considering whether they were suitable surfaces as to place a solar installation. The area of the different roofs which presents adequate characteristics was calculated, considering the shades that could appear during the day. In order to simplify the calculations, the shade was considered as if the sunrays were always coming from the southward direction. This will imply that, if an obstruction was placed at the Southwest of one of the roofs, the amount of energy calculated for the morning hours will be lower than the actual one, but in the afternoon the effect will be the opposite. In any case, the slight global difference throughout the day will be neglected.

The available roof areas have been then sketched and measured, using industrial drawings provided by the hospital, and obtaining the areas presented in Figure 4. All the areas identified as available -no shading- sum up 5,870 m².

4.2. Installation capacity calculations

In order to determine the power output of each technology, first calculations were to estimate the percentage of the surface that may be covered by panels. This was calculated in detail for the parts B1, C1 and



Figure 4. Available roof areas of the hospital.

D1. To begin with, the optimal separation between two rows of panels was found for area B1. This area faces south, making it easier to study, since all rows will have the same number of panels and will be perfectly aligned. The separation between rows needs to be considered, since their 38° inclination (optimal for the hospital's latitude) may cause the rows behind to be shaded. The panels will be fixed, and always facing South.

Calculations were made following the guidelines in *Ikaskuntza Birtual eta Digitalizatuen LHII (2020)* and considering that as soon as an area of the panel is shaded, the whole panel (and the rest of its row) are fully shaded. This was assumed since once a panel is partially shaded, its productivity drops drastically. Thus, once this happens, the output power was calculated for only the first row of panels. Once calculations are conducted for these three areas, the results obtained are extrapolated for the other areas. Further detail about these calculations can be found in *Guerrero (2020)*.

Since the output power is always expected to be far lower than the hospital's consumption throughout the year, the aim of the calculations was to maximize the total energy output, though also considering the productivity of the panels. For all these calculations, dimensions and

performance of state-of-the-art commercial solar panels were considered. For the PV panels the model chosen for these calculations was SunPower Maxeon 3 (Sun Power, 2020), for the solar-thermal (ST) panels, the model Baxi Sol 250H was selected (Gasfríocalor, 2020), and for the hybrid PVT panels Abora aH72 model was the chosen one (Abora Energy, 2020).

4.3. Results and discussion

From the calculations described above, and considering the information provided by the manufacturer of the solar panels selected, the total energy output and the energy output per panel was obtained. For the PV case, these calculations estimate that 1,193 PV solar panels of the selected model could be installed, which would produce about 716.3 MWh of electrical energy per year. This quantity represents a 1.75% of the current electricity demand of the hospital.

For the solar-thermal case, 941 solar panels of the selected model could be installed, which would produce about 2,738.0 MWh(th) of thermal energy per year. This quantity represents a 244% of the current natural gas demand of the hospital. This fact implies that, even in the case that this technology proved to be cheaper than the other technologies studied, a better solution would be to install it only on a part of the available surfaces and cover the rest with photovoltaic panels.

Results for the hybrid PVT case show that a total of 1,256 panels could be installed, producing an amount of 657.5 MWh(e) and 2,096.4 MWh(th) per year. Their productivity is around 523.5 kWh(e) and 1,669.1 kWh(th) per panel. These numbers imply a coverage of around a 1.6% of the electrical needs of the hospital, as well as a 187% of its natural gas consumption.

According to Pedrajas (2017), the energy consumption in a hospital of the size of *Sant Pau* and in the Mediterranean area is estimated to be of 25 MWh (69,4%) of electrical energy and 11 MWh (30,6%) of

thermal energy, per bed and year. From data of *Hospital de Sant Pau*, we observe that more than 97% of the total energy demand corresponds to electricity consumption. From this data, it is safe to assume that an important part of the heating demand in the hospital is generated by electric heaters. This explains why in the cases of the installation of solar thermal and hybrid PVT panels, the thermal energy produced overcomes the hospital's demand. Assuming the electrical and thermal energy demands to follow the ratios of Pedrajas (2017), the annual electrical and thermal loads would be 29.2 GWh(e) and 12.8 GWh(th) -instead of 40.9 GWh(e) and 1.1 GWh(th)-, respectively. Considering those numbers, the percentages of energy covered in the three cases studied would be 2.46% (e), 21.37%(th) and 2.265(e)/16.37%(th) for the case of the PV, solar thermal and hybrid PVT installations, respectively.

5. Economic analysis

Once the output energy and productivity of the different options of installation have been calculated, the cost of these installations needs to be estimated, since it is also a parameter of paramount importance when it comes to decide which will be the selected installation option.

The chosen photovoltaic panel for this installation option is the SunPower Maxeon 3 (Sun Power, 2020). The price for the chosen PV panels has been estimated to be the same as the price of other panels with the same technical specifications, which is 158.98 € including a 5% VAT (Autosolar, 2020). The cost of the 1,193 panels would therefore be 189,663.14 €. According to Ramos et al. (2017) the cost of the panels accounts for a 58% of the total cost of a photovoltaic installation. Another 34% is attributed to the installation of those panels, whilst the remaining 8% of the total cost is related to the electrical components and fixing of the installation. Consequently, the cost of the electricity produced with this installation is 0.0183 €/kWh(e), which is much lower than the electricity price of the grid (of around 0.05343 €/kWh(e) for a

hospital (OMIE, 2019). Since the installation is able to produce 716.3 MWh(e) per year, the savings will be around 38,271.91 €. Considering that the panels have a lifespan of around 25 years, the initial investment would be recovered in less than 10 years, and the net benefit would be 359,422.04 €. This production would imply an emissions reduction of around 3,433 tonnes of CO₂-eq in 25 years, according to Spanish electric grid's emissions rate (Red Eléctrica de España, 2020a).

The thermal panel that was selected for this option is Baxi Sol 250H (Gasfríoalor, 2020), with a cost of 635.01 €, including the VAT (Autosolar, 2020). The cost of the 941 panels of the installation in the hospital would then be 597,544.41 €. According to Walker (2013), the cost of an installed complete water heating solar system is approximately the double of the price of the panels, so the total cost of the system may be estimated at around 1,195,088.82 €. Altogether, the cost of the thermal energy generated by this installation would be around 0.0624 € kWh(th). This price is higher than the price of natural gas in Spain (13.5 €/MWh in 2019) (Guarracino et al., 2016), but despite of this, the annual savings regarding the previous natural gas purchase would be above 15,148.07 €. The initial investment would be also recovered in about 10 years, and the net benefits at the end of the panels' life (25 years) would be 1,428,723.52 €. The CO₂-eq emissions prevented by this system would be of 13,123 metric tons throughout the panels' lifetime; almost 4 times higher than in the case of the PV installation, due to the high emissions of natural gas boilers (Red Eléctrica de España, 2020b).

Finally, if the implemented technology is hybrid photovoltaic-thermal panels, the chosen panel is Abora aH72, which costs 568 € per panel according to the manufacturer (Abora Energy, 2020). The cost of the 1,256 installed panels will therefore be 713,408 €. Following the breakdown of the capital costs of a PVT installation established in Guarracino et al. (2016), the cost of the generated energy by these panels would be around 0.0765 €/kWh(e) if considering only the electrical

output, and around 0.0240 €/kWh(th) if considering only the thermal output. The price per kWh of energy produced, combining electrical and thermal, is 0.0183 €/kWh. The initial investment is returned in less than 10 years, and at the end of panels' lifespan (25 years), the net revenue is 1,382,237.57 €. About the CO₂-eq emissions savings, these sum up 13,993 tons throughout the panels' lifetime, slightly higher than in the case of the solar thermal panels, and almost 4 times that of the case of the PV installation.

6. Conclusions

Among all types of buildings, hospitals are some with the highest energy consumption per surface unit, therefore to increase the percentage of their energy consumption that comes from renewable sources is of key importance. Modular solar-based technologies have been proven economically viable and environmentally sustainable options for on-site energy generation in the case of the *Hospital de la Pau* in Barcelona. For the three different type of solar-based generating installations studied (photovoltaic, solar thermal and hybrid photovoltaic-thermal panels), similar results are obtained in terms of payback time, that is about 10 years. Considering the three installations to have a lifetime of 25 years, the net revenue and the CO₂-eq emissions savings are almost four times higher in the case of the hybrid photovoltaic-thermal and solar thermal panels -about 1.4 M€ and 14,000 tons, respectively- than in the case of the photovoltaic installation.

Acknowledgements

Authors would like to acknowledge Rubèn Moragues, General Services Director of Hospital de Sant Pau, for his help and all the data provided. A. Ramos acknowledges the Universitat Politècnica de Catalunya for her Serra Hunter Tenure Track professor post.

References

- ABORA ENERGY. (2020). *Tarifas 2020*. Panel aH72 SK. Abora Energy, S.L., 2020.
- ATTOYE DE; AOUL, K.; & HASSAN, A. (2017). A Review on Building Integrated Photovoltaic Façade Customization Potentials. *Sustainability*, 9:2287. <https://doi.org/10.3390/su9122287>
- AUTOSOLAR (2020). *Placa Solar 400W Jinko Mono Perc*. <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/placa-solar-400w-jinko-mono-perc>. Accessed on May 2nd, 2020.
- EUROPEAN COMMISSION (2020a) *Energy use in buildings*. https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets-topics-tree/energy-use-buildings_en. Accessed on June 27th, 2020.
- EUROPEAN COMMISSION (2020b). *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR. Accessed on March 30th, 2020.
- GASFRÍOCALOR (2020). *Captador solar plano Baxi SOL 250 H*. <https://www.gasfriocalor.com/captador-solar-plano-baxi-sol-250-h>. Accessed on July 15th, 2020.
- GLOBAL SOLAR ATLAS (2020). Accessed on March 30th, 2020. <https://globalsolaratlas.info/detail?c=41.360576,2.029724,11&s=41.413525,2.171268&m=site>.
- GUARRACINO, I. et al. (2016) *Performance assessment and comparison of solar ORC and hybrid PVT systems for the combined distributed generation of domestic heat and power*. Imperial College London.
- GUERRERO, G. (2020). *Analysis of the potential of solar-based energy technologies to meet the energy demand of a hospital*. UPC Master Thesis Report, 2020.
- HUSAIN, A. A. F.; HASAN, W. Z. W.; SHAFIE, S.; HAMIDON, M. N.; & PANDEY, S. S. (2018). A review of transparent solar photovoltaic technologies. *Renew Sustain Energy Ren.*, 94, 779-791. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.031>
- IEA (2019). *Global Status Report for Buildings and Construction 2019 – Analysis*. Paris (France).
- IEA (2020). *Tracking Buildings 2020 – Analysis*. Paris (France).
- IKASKUNTZA BIRTUAL ETA DIGITALIZATUEN LHII. 2.2.1. (2020). *Cálculo de la separación de las filas de paneles para evitar sombras*. https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISF05/es_IEA_ISF05_Contenidos/website_221_clculo_de_la_separacin_de_las_filas_de_paneles_para_evitar_sombras.html. Accessed on April 4th, 2020.
- IPCC (2018). *Global Warming of 1.5 °C*. IPCC Special Report.

- MESSENGER, R.; & ABTAHI, H. (2017). *Photovoltaic Systems Engineering*. Boca Raton, Taylor & Francis Group, 49-57, 398-434.
- MÍNGUEZ, C. (2018). *Consumos de Energía en Hospitales Españoles*. IDAE. Ingeniería Hoy.
- NEJAT, P.; JOMEHZADEH, F.; TAHERI, M. M.; GOHARI, M.; & MUHD, M. Z. (2015). A global review of energy consumption, CO₂ emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO₂ emitting countries). *Renew Sustain Energy Rev*, 43, 843-862. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.066>
- OPERADOR DEL MERCADO IBÉRICO DE ENERGÍA (OMIE). (2019). *Evolución del Mercado de electricidad. Informe anual, 2019*
- PEDRAJAS, J. (2017). *Auditoría energética de un hospital* (Master Thesis). Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI), Universidad Pontificia Comillas, Madrid.
- RAMOS, A. et al. (2017). *Solar Thermal and Hybrid Photovoltaic-Thermal Systems for Renewable Heating*. Grantham Institute Briefing Paper No 22.
- RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (REE). (2020a). *El Sistema Eléctrico Español 2019*. Madrid, Red Eléctrica de España, 26-27, 36, 43.
- RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (REE). (2020b). *Emisiones de CO₂ asociadas a la generación de electricidad en España*. Madrid, Red Eléctrica de España, 2-3.
- SUN POWER. <https://sunpower.maxeon.com/int/solar-panel-products/sunpower-maxeon-solar-panels>. Accessed on July 15th, 2020.
- THE EUROPEAN COMMISSION (2019). *The European Green Deal*. Brussels (Belgium).
- THE RENEWABLE ENERGY HUB (2020). *How do solar thermal panels work*. <https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/solar-thermal-information/how-do-solar-thermal-panels-work/>. Accessed on March 4th, 2020.
- UN ENVIRONMENT AND INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2017). *Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global status report 2017.
- WALKER, A. (2013). *Solar energy*. Hoboken. John Wiley & Sons, Inc., p. 165-168. <https://doi.org/10.1002/9781118842973>
- WORLD HERITAGE CONVENTION OF THE UNESCO (2020). *Palau de la Música Catalana and Hospital de Sant Pau, Barcelona*. <http://whc.unesco.org/en/list/804>. Accessed on March 25th, 2020.

Indicios y Evidencias de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) Identificables en Trabajos de Final de Estudios (TFE)

José Luis Lapaz Castillo

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

Cesc Mestres-Domènech

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

Lucía Soto Rodríguez

ESEIAAT. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (UPC), becària de recerca-EGD

Resumen

Este trabajo tiene como finalidad evidenciar la presencia de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, propugnados por la ONU en 2015, en trabajos finales de estudio (TFE) del área de ingeniería de diseño y desarrollo del producto (IDYDP).

Para ello se ha analizado una muestra de 210 TFE integrada por trabajos finales de grado (TFG) y trabajos finales de máster (TFM), detectando posibles indicios y evidencias de cada uno de los objetivos en los contenidos de las memorias de los trabajos.

Se han presentado los resultados obtenidos, poniendo de manifiesto hasta qué punto aparecen implícita o explícitamente los ODS en los trabajos, con objeto de establecer una estrategia para futuras propuestas de TFE que permitan corregir los desequilibrios detectados de manera paulatina.

Dadas las evidentes limitaciones del trabajo, este se postula como un análisis previo, en vistas a un estudio posterior mucho más exhaustivo y complejo.

Abstract

The purpose of this work is to demonstrate the presence of the 17 Sustainable Development Goals, advocated by the UN in 2015, in final study works (FSW) in the area of design engineering and product development (DEPD).

For this, a sample of 210 FSW has been analyzed, between final degree works (FDW) and final master's works (FMW), detecting possible indications and evidence of each of the objectives in the contents of the reports of the works.

The results obtained have been presented, highlighting the SDGs that are more and less addressed in the work, in order to establish a strategy for future FSW proposals that will gradually correct the imbalances detected.

Given the obvious limitations of the work, it is postulated as a preliminary analysis in view of a much more exhaustive and complex later study.

1. Introducción

En el año 2015, como parte de la denominada Agenda 2030, la Organización de las Naciones Unidas establece los denominados



Figura 1. ODS <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Objetivos de Desarrollo Sostenible, comúnmente referidos por su acrónimo ODS.

Dependiendo de la fuente consultada, veremos diferentes definiciones para cada uno de los objetivos. No obstante, dejando a un lado los aspectos formales, la idea esencial de cada uno de ellos está perfectamente concretada y delimitada.

Esto es imprescindible si se pretenden establecer indicadores para controlar y evaluar su evolución considerando períodos temporales preestablecidos.

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) son los siguientes (ONU):

- Objetivo 1: Poner fin a la pobreza
- Objetivo 2: Hambre y seguridad alimentaria
- Objetivo 3: Salud
- Objetivo 4: Educación
- Objetivo 5: Igualdad de género y empoderamiento de la mujer
- Objetivo 6: Agua y saneamiento
- Objetivo 7: Energía
- Objetivo 8: Crecimiento económico
- Objetivo 9: Infraestructura
- Objetivo 10: Reducir las desigualdades entre países y dentro de ellos
- Objetivo 11: Ciudades
- Objetivo 12: Producción y consumo sostenibles
- Objetivo 13: Cambio climático
- Objetivo 14: Océanos
- Objetivo 15: Bosques, desertificación y diversidad biológica
- Objetivo 16: Paz y justicia
- Objetivo 17: Alianzas

Los más de 150 jefes de estado y de gobierno firmantes se comprometieron a hacerlos suyos, dentro de sus respectivas estrategias globales a nivel de país y con vistas a mejorar sus indicadores en cada uno de los 17 ámbitos, reduciendo las brechas y diferenciales tanto a nivel interno como externo (Estrategia Europa, 2020).

Aunque, a priori, puede parecer que forman parte de estrategias globales estatales, se consideró interesante extrapolar la idea a un ámbito mucho más reducido, como es el académico.

Con esta finalidad, se pensó que los trabajos finales de grado y de máster podrían ser un buen indicador de cómo estos ODS influyen y condicionan las temáticas de los TFE.

Dado que había que acotar el problema para poder abordar su realización, se pensó en centrarlo en una muestra significativa de TFE en uno de los ámbitos de estudio más transversales: el diseño industrial y el desarrollo de producto.

Los TFE seleccionados corresponden al Grado en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo de Producto, impartido en la Escuela Superior de Ingeniería Industrial, Aeronáutica y Audiovisual de Terrassa (ESEIAAT) y al Master Barcelona Design (MBD, que forma parte del plan de estudios de la Escuela Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB). Ambos centros docentes son unidades académicas de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) (UPCommons, 2021).

De los 210 trabajos finales de estudios analizados en el presente estudio, 203 son trabajos finales de grado y siete lo son de final de máster.

Tipo de TFE:	Número de TFE	% respecto al total
Trabajo final de Grado	203	96,66
Trabajo Final de Máster	7	3,33

Tabla 1. Tipología de los TFE analizados en base al ciclo de los estudios.

En lo que respecta al idioma, 130 han estado desarrollados en español, 83 en catalán y siete en inglés.

Tipo de TFE:	Español	Catalán	Inglés	Total
Trabajo final de Grado (TFG)	118 (58,13%)	73 (35,96%)	12 (5,91%)	203 (100,00%)
Trabajo Final de Máster (TFM)	5 (71,43%)	0 (0,00%)	2 (28,57%)	7 (100,00%)

Tabla 2. Idioma empleado en el redactado de los TFE.

Como hemos indicado anteriormente, las temáticas abordadas por los TFE se circunscriben al ámbito de la ingeniería y, más específicamente, al campo del diseño industrial.

En la siguiente tabla podemos observar las diferentes tipologías de los TFE seleccionados. En ningún caso el listado de tipologías detectadas puede considerarse como una taxonomía, dado que hay otra gran cantidad de ámbitos del diseño que no aparecen aquí reseñados.

Como puede observarse, destacan los TFE relacionados con los bienes de consumo, envase y embalaje y vehículos.

Estas tres categorías suponen casi un tercio del total de trabajos analizados. A pesar de ello, no podemos inferir que sean también los que mayores evidencias ODS presenten.

Tipo de TFE:	Número de TFE	% respecto al total
Propuestas conceptuales	4	1,90%
Juguetes sostenibles/STEM	6	2,86%
Diseño de joyas	1	0,48%
Bienes de consumo	28	13,33%
Bienes industriales	15	7,14%
Espacios efímeros	1	0,48%
Mobiliario de interior	12	5,71%
Mobiliario de exterior	9	4,29%
Mobiliario de oficina	4	1,90%
Iluminación de interiores	1	0,48%
Iluminación de exteriores	1	0,48%
Diseño de servicios	7	3,33%
Envase y embalaje	23	10,95%
Experiencia de usuario	1	0,48%
Vehículos	18	8,57%
Textiles y materiales	7	3,33%
Investigación en diseño	1	0,48%
Instalaciones de exterior	2	0,95%
Logística y producción	4	1,90%
Reciclaje doméstico	6	2,86%
Sector médico-sanitario	15	7,14%
Módulos habitacionales	5	2,38%
Reciclado de residuos	7	3,33%
Imagen corporativa	6	2,86%
Fitness	4	1,90%
Diseño artesanal	2	0,95%
Rehabilitación energética	3	1,43%
Patrimonio industrial	1	0,48%
Energía solar	1	0,48%
Ámbito docente	1	0,48%
CAD/CAM/CAE	5	2,38%
Realidad virtual	2	0,95%
Simulación	7	3,33%
TOTAL:	210	100,00%

Tabla 3. Tipología de los TFE estudiados según su temática.

2. Metodología

Se ha realizado un trabajo empírico, centrado en una revisión sistemática y planificada de los trabajos de final de estudios preseleccionados, detectando los indicios y evidencias relacionados con los 17 objetivos de desarrollo sostenible.

Como puede inferirse, se trata de un método ejecutado a posteriori, una vez los trabajos ya han sido entregados y defendidos frente a un tribunal evaluador.

El tratamiento estadístico de los datos obtenidos lo es a nivel básico descriptivo, con la única finalidad de resumir y comparar resultados.

En ningún momento se aplica un tratamiento estadístico avanzado con objeto de analizar, optimizar, depurar, evidenciar correlaciones, ... u otros objetivos de mayor alcance. Las limitaciones propias del estudio así lo han determinado.

3. Resultados

Toda vez revisados los TFE en busca de indicios y evidencias, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la Tabla 4.

Del análisis efectuado podemos inferir que:

- El ODS más tratado en los TFE es el número 3. A continuación le siguen los objetivos 12, 5 y 13.
- Hay 4 ODS (2, 14, 16 y 17) que no son abordados por el estudiantado en sus trabajos finales de estudios.

En la mayoría de los casos, el tratamiento es bastante superficial. No se profundiza en la aplicabilidad y las consecuencias de un enfoque ODS como hilo conductor del TFE.

ODS:	Nº de TFE con indicios/ evidencias:
1. Poner fin a la pobreza	1
2. Hambre y seguridad alimentaria	0
3. Salud	13
4. Educación	1
5. Igualdad de género y empoderamiento de la mujer	8
6. Agua y saneamiento	1
7. Energía	2
8. Crecimiento económico	1
9. Infraestructura	1
10. Reducir las desigualdades entre países y dentro de ellos	1
11. Ciudades	1
12. Producción y consumo sostenibles	9
13. Cambio climático	7
14. Océanos	0
15. Bosques, desertificación y diversidad biológica	1
16. Paz y justicia	0
17. Alianzas	0

Tabla 4. TFE analizados en los cuales se observan indicios de ODS.

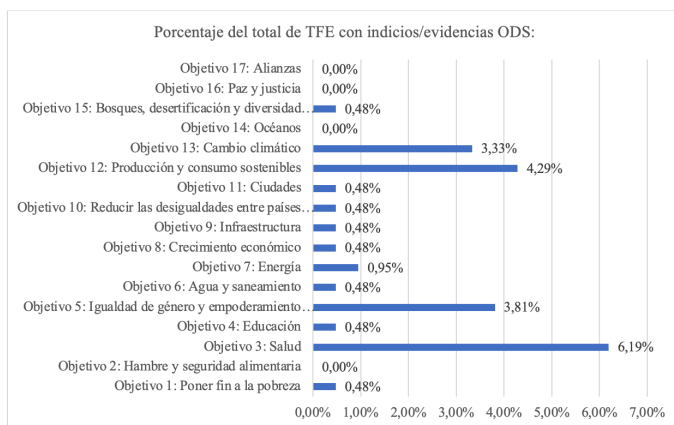


Figura 1. Porcentaje del total de TFE con indicios/evidencias ODS.

4. Conclusiones

La estrategia futura a la hora de plantear nuevos temas para el desarrollo de TFE pasa por potenciar los retos asociados a ODS poco o levemente considerados (Comunidad por el clima, 2021; Cuaderno de valores, 2021).

Respecto a los 4 ODS con cero evidencias detectadas en los TFE, podemos comentar lo siguiente:

ODS 2: hambre y seguridad alimentaria

Propuestas de TFE que redunden en la eficiencia y optimización de cultivos y producción alimentaria. Aquí tendrían cabida, por ejemplo, el diseño de huertos urbanos, herramientas y maquinaria agrícola para optimizar los cultivos, elementos de control en instalaciones de producción alimentaria, tratamiento de productos de proximidad y temporada, diseño de sistemas y aparatos para la conservación de alimentos...

ODS 14: océanos y vida submarina

En este objetivo podríamos encajar propuestas encaminadas a la mejora de los sistemas y subsistemas marítimos, en especial por lo que respecta a la limpieza, tratamiento y eliminación de residuos que van a parar al mar, en especial la contaminación por micro plásticos, técnicas de mejora para la acuicultura, depuración de aguas residuales vertidas al mar, diseño de dispositivos limitadores de consumo de agua doméstica, industrial y agrícola, etc.

ODS 16: paz y justicia

Es difícil encontrar temáticas de TFE que aborden este ODS. Quizás las propuestas que contemplen sistemas y dispositivos del área de seguridad individual y ciudadana, por ejemplo.

ODS 17: alianzas estratégicas

Por lo que respecta a este ODS, la estrategia iría encaminada a proponer retos multidisciplinares, intersectoriales e internacionales que implicasen una colaboración estrecha y un mayor aprovechamiento tanto de sinergias como de economías de escala.

De hecho, esto ya se evidencia, tácitamente, en muchos de los TFE de doble grado, aunque debería quedar más explicitado.

En lo que se refiere estrictamente a los objetivos, metodología y aspecto formal del trabajo, hay mucho campo por recorrer. En posteriores trabajos de continuidad, habría que:

- Tomar una muestra mucho más significativa, en lo que a alcance y magnitud se refiere.
- Profundizar en el análisis (búsqueda de palabras-clave, por ejemplo),
- Considerar un mayor número de trabajos finales de máster.
- Analizar otras posibles relaciones cruzadas. Por ejemplo, ver qué temáticas se relacionan más con cada uno de los 17 ODS.
- Ampliar el espectro de titulaciones contempladas, ya sean del ámbito de la ingeniería (mecánica eléctrica, electrónica, ...), arquitectura, ciencias e incluso humanísticas.

No se ha ponderado la importancia relativa de cada uno de los ODS. Para ello sería preciso utilizar entrevistas y cuestionarios que nos permitiesen ordenarlos por su relevancia e impacto en la sociedad. En principio, todos ellos se plantearon en su inicio con igual importancia a la hora de ser acometidos por los países firmantes del acuerdo.

El ODS 13: adoptar medidas urgentes para combatir y paliar la crisis climática y medioambiental, así como los efectos derivados.

Referencias

- COMUNIDAD POR EL CLIMA <https://porelclima.es/index.php> (Consultado en enero de 2021).
- CUADERNO DE VALORES. *El blog de educo* (2021). <https://www.educo.org/blog/Que-son-los-17-Objetivos-de-Desarrollo-Sostenible>
- ESTRATEGIA EUROPA 2020. (2020). Ministerio de Ciencia e Innovación. <https://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.26172fcf4eb029fa6ec7da6901432ea0/?vgnnextoid=9fa3cd8da41c1410VgnVCM1000001d04140aRCRD> (Consultado en enero de 2021).
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). (2021). *Objetivos de desarrollo sostenible. Diecisiete objetivos para transformar el mundo*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/> (Consultado en enero de 2021).
- UPCOMMONS. *Trabajos académicos*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/21126> (Consultado en enero de 2021).

Design and Development of Biomedical Applications for Post-Stroke Rehabilitation Subjects

Jordi Torner Ribé, Gil Serrancolí, Inés Ayestaran Arriaga, Francesc Alpiste, Andrea Iriarte, Carles Margelí, Berta Mayans, Andrés García, Sergio Morancho, Cristina Molas
EEBE. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (UPC)

Abstract

Virtual Reality (VR) is having an increasing influence in fields such as education, marketing or scientific research. Thus, biomedical and health applications are also improving due to advances in Virtual Reality. The aim of this project is to develop computational applications focused on the rehabilitation of different parts of the body. These applications assist the motor and cognitive rehabilitation of post-stroke subjects. To this end, indications provided by the specialists of our collaboration center, the *Functional Diversity Association of Osona* (ADFO), have been taken into account. This association is planning to use the developed applications in their rehabilitation processes in order to make them less monotonous and more interactive.

The telerehabilitation system consists of a depth camera to track the user's movements and a set of computational applications. There are two types of applications: a set of rehabilitation exercises of individual movements and a set of serious games. The user will combine sessions with both sets of applications during the rehabilitation process.

The test of applications with post-stroke subjects will be performed in the near future. Some results have been obtained testing the system on healthy people, and based on those results, corrections have been applied. This project aims to provide more playful rehabilitation exercises and, therefore, a more enjoyable and effective rehabilitation process.

1. Introduction

The estimated number of stroke-affected people per year in Spain is 110.000 (Agencia EFE, 2021). Around 75% of affected people by stroke are over 65 years (although the age of affected people is decreasing). Of these, 41.5% will suffer moderate or severe physical damages, and during the first year, 16% will die (Neural, 2021). Life expectancy after a stroke depends on many factors. The main ones are the age and the severity of the injury. Other factors, such as chronic diseases, will also play a role. Most of the motor and cognitive recovery can be achieved during the first six months after the injury (Chamelian, 2004; Laver et al., 2017). However, after this period, active rehabilitation maintenance is also crucial to avoid losing recovery and maintain patient independence. Therefore, carrying a rehabilitation program according to the patient's needs will be essential. Here is where technology can help to make the patient's lives and the work of clinicians easier.

Virtual Reality (VR) applications have been developed in different fields of medicine: post-stroke rehabilitation (Laver et al., 2017; Howard, 2017; Gibbons et al., 2016), pediatric rehabilitation (Olivieri et al., 2018), physical rehabilitation (Borrego et al., 2016), cognitive training (Hill et al., 2017), neurocognitive diagnosis (Zygouris et al., 2017), traumatic brain injury rehabilitation (Aida et al., 2018), mental health (Pla-Sanjuanelo et al., 2019), pain management (Dascal et al., 2017; Pourmand et al., 2017). Furthermore, VR and Augmented Reality (AR) are used in surgery procedures (Robison et al., 2011; Aïm et al., 2016) and other medical training programs (Gout et al., 2020). The main benefits of VR applications over other treatments are their non-invasiveness, low cost, the facility to engage and motivate the user based on the gamification, the easy portability for home-based treatments, and the facility of providing feedback to patients and reporting data to therapists (Gibbons et al., 2016; Domínguez-Téllez et al., 2020). Although there is no unanimity regarding the effectiveness of their use, there is a willingness to continue evaluating and generalizing their utilization (Rose et al.,

2018). There is a consensus that virtual environments stimulate enjoyment and motivation in rehabilitation tasks (Neural, 2021). According to Pietrzak et al. (2014), videogames based on VR systems can be incorporated into post-stroke rehabilitation to make the treatments easier for both clinical-based and home-based treatments. Moreover, therapists could adapt individualized VR games based on the patient's clinical needs by modifying the type, accuracy, number, frequency, duration and difficulty level. The computational application can also provide personalized and positive feedback (Lin et al., 2013) to enhance the well-being of healthy and injured adults (Montana et al., 2020).

Traditional rehabilitation is often associated with boring processes and repetitive exercises, which can reduce patients' motivation over time. Additionally, it requires (at least) one therapist to treat each patient individually, increasing the need for resources and, therefore, the staff and the healthcare system's costs. These visits also involve unnecessary movements by the injured subject and the familiars. Many researchers combine the principles of VR with other technologies to treat chronic stroke survivors with any impairment (Levin et al., 2012). Over time, VR has shown to improve patients' ability to imagine and move the rehabilitation field in different directions. VR is compatible with traditional therapy and is low-cost. It offers the possibility to experience psychological states of immersion and involvement and gives rise to a sense of presence, even in physically impossible situations (Blake et al., 2005). This feature allows personalizing the experience and improving the system's therapeutic function, providing graded and quantified rehabilitation activities that can be individualized (Yates et al., 2016).

This project aims to develop and validate a set of computational applications based on non-immersive VR. With only a depth camera (Intel Real Sense 415, Intel, California, USA) and a regular computer, the user can follow the rehabilitation treatment from home while feeling that he is playing and entertaining himself. We have developed a set of basic

movement exercises and a set of serious games. In the first ones, the user has to repeat the movements of a virtual avatar. He also can see his movements in a virtual mirror. In the serious games, the user has to achieve a certain objective in daily life situations, like catching balls as a goalkeeper, cooking a pizza, or cleaning a bathroom.

2. Methodology

This section describes the followed methodology and the technological resources used during the project's development. Overall, the project has been developed in Unity to develop the computational environment. The Software Development Kit (SDK) of NuiTrack has been used to treat the data coming from the Real Sense 415, and Navicat has been used to create the database.

Unity allows the creation of both 2D and 3D games as well as virtual reality games and augmented reality, in addition to having other functionalities such as the possibility of including sounds or having a physical engine that simulates the laws of physics. The “scene” is one of the most important windows in the Unity editor because it contains all the video game objects. It is where the developer can move and manipulate all the objects. A videogame can contain several scenes that can be modelled according to the needs. For example, each video game level can be considered a scene.

One important aspect of the game window is the view from where the user will perceive the scene. Each scene can have one or more virtual cameras placed around the scene, to be visualized from different angles. All objects contained (or potentially to be contained) in the scenes are listed in a hierarchy window, which allows to identify and link the objects easily. Unity uses different elements to create a scene, some components called *assets* are prefabricated. *Assets* can be created from Unity elements or imported from external files. Unity has a web library with free and paid *assets*, called Asset Store, accessible from the program itself or from

the Internet. Most objects used in this project were freely obtained from the web library.

Scripting is an essential ingredient in all video games, from the simplest to the most complex. They define the behaviour of the components in the scene. They are used to respond to the player's input, create graphic effects, control the behaviour of the components in a scene, etc. Unity offers the possibility of developing code in JavaScript, C++ or C#, the latter being the most used by the video game development community (due to the large number of functions that facilitate programming). The entire project has been developed in C#, and compiled in VisualStudio within Unity.

In this framework, an Intel Real Sense D415 camera (Figure 1) is capturing the movement of the user, and NuiTrack SDK (also C# based) is used to obtain the skeleton of the subject. This camera has a depth field of view (FOV) of $64^\circ \times 41^\circ$ (horizontal by vertical) with a resolution of 1280×720 pixels. Its red, green, blue (RGB) FOV is the same, $64^\circ \times 41^\circ$, and the RGB resolution is up to 1920×1080 pixels. The depth frame rate could be up to 90 fps.

NuiTrack SDK tracks a full-body skeleton with 19 body landmarks, though in this project 17 were used (hand position was neglected, the arm segment ends with the wrist point). The skeleton is captured at each frame. NuiTrack can report the angles needed to orient the segments in the space. However, angles indicated by the therapists were calculated



Figura 1. Intel® Depth Sensor Camera
RealSense™ D415 (Intel, 2021)

(shoulder flexion, vertical and horizontal shoulder adduction, elbow flexion, hip and knee flexion).

Navicat Premium is a database development tool that allows simultaneously connecting to MySQL, MariaDB, MongoDB, SQL Server, Oracle, PostgreSQL, and SQLite databases from a single application. It can be used to quickly and easily build and maintain remote databases. In this project, Navicat has been used to register the users and record scalar data for each session, such as the number of repetitions of the exercise, the duration, the range of the movement, or a quantified indicator of the performance. Apart from the scalar data, the positions of the skeleton's points and the angles are exported to a server in ASCII format.

3. Applications design

Six exercises of simple joint movements and seven serious games have been integrated under a single Unity executable application. The user has to login either as a therapist to register subjects or as a subject to start using the application (Figure 2a). The six exercises (Figure 2b) consist of shoulder flexion, vertical and horizontal shoulder adduction, elbow flexion, body swing in the medial-lateral direction, and a neutral exercise. In the first five exercises, a virtual avatar guides the user with the movement to be performed. In turn, the user can see his movement reflected in a virtual mirror. The user can choose to perform these exercises by a certain time duration or by the number of repetitions. Figure 3 shows the environment with the virtual trainer avatar (left) and the virtual mirror avatar (right). The traffic light starts in red, while the virtual trainer performs some repetitions as example, and then when it turns green, the user can start performing the exercise.

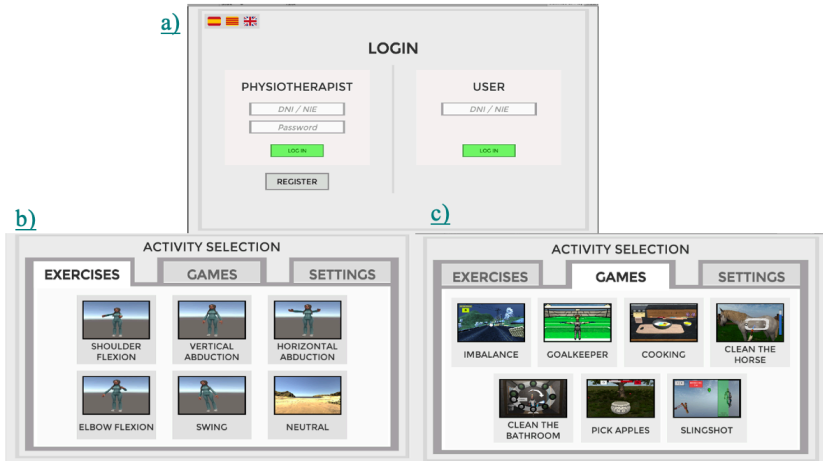


Figure 2. Main panels of the application. a) User login. b) Exercise selection. c) Serious game selection.



Figure 3. Example of the shoulder flexion exercise.

The neutral exercise (Figure 2b) will only be used during the assessment of the intervention treatment. The physiotherapist will guide the user to perform some exercises and the “Neutral exercise” will store the trajectory of the keypoints of the body skeleton. These data will be processed a posteriori.

As for the games (serious games, Figure 2c), there are seven, with different topics. Four of them are intended for the user to move upper limbs, one to move lower limbs, and two to perform medial-lateral swing. *Clean the bathroom* place the user in a bathroom and he/she has to clean the mirror using the arms (Figure 4a). Two games can be played, one where the user must follow a certain path and sweep some checkpoints. The other one consist of sweeping the whole mirror to remove the bath steam. The *Kitchen* game has three subgames based on the movement of the arms (Figure 4b). The user must cut some vegetables in slices (shoulder and elbow flexion), introduce some ingredients in a bowl (movement to bring the hand near the face) and introduce the pizza to the oven (shoulder and elbow movements). *Clean the horse* consists of sweeping a horse following some predefined geometric curves (Figure 4c), while moving the upper limbs. *GoalKeeper* place the user in a soccer field and needs to perform shoulder flexions to stop the balls (Figure 4d). The *Imbalance* game consists of performing medial-lateral movements with the whole body with the purpose of collecting coins and avoid obstacles (Figure 4e). It has three subgames, with different environments (forest, road and under the sea). In *PickApples*, the user needs to perform the same movement as in the game *Imbalance*, but with the goal to collect apples that are falling from an apple tree (Figure 4f). In the *Slingshot* game, the user needs to perform hip and knee flexions to shot ballons (Figure 4g). At the beginning, the user is asked to record the maximum height of the knee, to define the height of the shots. There are different levels according the height of the ballons.

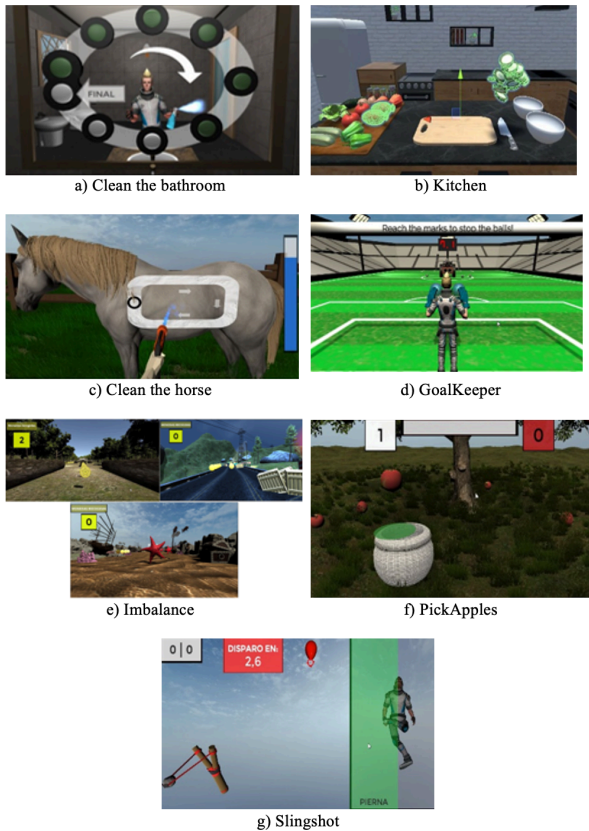


Figure 4. Seven serious games of the application. a) Clean the bathroom, b) Kitchen, c) Clean the horse, d) Goalkeeper, e) Imbalance, f) PickApples, g) Slingshot.

4. Conclusions and future lines

This project aims to implement non-immersive virtual reality in the rehabilitation treatment of post-stroke subjects to maintain and improve their motor skills. To this end, several games and exercises have been developed under a single computational application in collaboration with

an association of Functional Diversity (ADFO). The application has been tested by healthy subjects and therapists of the ADFO and a physiotherapist. A clinical trial will be started with 26 post-stroke subjects (> 9 months after the injury) in the near future.

Our hypothesis is that this telerehabilitation system improve the rehabilitation treatment of the subjects. The subjects may not improve the motor capabilities, since they are mostly recovered during the acute phase (< 6 months after the injury) (Chamelian, 2004). However, the project aims to maintain these capabilities and prevent mobility loss, leading to social and economic negative consequences. We will compare the treatment with the telerehabilitation system with conventional physiotherapy.

This system helps to monitor injured subjects remotely, crucial in those times with clinical and economic issues. Future lines consist of escalating the project, introducing dynamic analyses within the application and introducing gamification concepts, to improve the subjects' adherence to the use of the rehabilitation system.

Acknowledgments

The authors acknowledge the feedback received from Ariadna Pamplona, Meritxell Vilaró, and Elisenda Currius, who provided conceptual clinical and practical ideas to develop the application.

References

- AGENCIA EFE (2021). *El ictus en cifras*. Available online: <https://www.efc.com/efe/espana/sociedad/el-ictus-en-cifras/10004-3422491> (Accessed on Jan 22th, 2021).
- AIDA, J.; CHAU, B.; & DUNN, J. Immersive virtual reality in traumatic brain injury rehabilitation: A literature review. *NeuroRehabilitation*, 42, 441-448. <https://doi.org/10.3233/NRE-172361>

- AÏM, F.; LONJON, G.; HANNOUCHE, D.; & NIZARD, R. (2016). Effectiveness of virtual reality training in orthopaedic surgery. *Arthrosc. - J. Arthrosc. Relat. Surg.*, 32, 224-232. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.07.023>
- BLAKE, D.T.; STRATA, F.; KEMPTER, R.; & MERZENICH, M.M. (2005). Experience-Dependent Plasticity in S1 Caused by Noncoincident Inputs. *J. Neurophysiol.*, 94, 2239-2250. <https://doi.org/10.1152/jn.00172.2005>
- BORREGO, A.; LATORRE, J.; LLORENS, R.; ALCANIZ, M.; & NOÉ, E. (2016). Feasibility of a walking virtual reality system for rehabilitation: Objective and subjective parameters. *J. Neuroeng. Rehabil.*, 13, 1-10. <https://doi.org/10.1186/s12984-016-0174-1>
- CHAMELIAN, L. (2004). Six-month recovery from mild to moderate Traumatic Brain Injury: the role of APOE- 4 allele. *Brain*, 127, 2621-2628. <https://doi.org/10.1093/brain/awh296>
- DASCAL, J.; REID, M.; ISHAK, W.W.; SPIEGEL, B.; RECACHO, J.; ROSEN, B. et al. (2017). Virtual reality and medical inpatients: A systematic review of randomized, controlled trials. *Innov. Clin. Neurosci.*, 14, 14-21.
- DOMÍNGUEZ-TÉLLEZ, P.; MORAL-MUÑOZ, J.A.; SALAZAR, A.; CASADO-FERNÁNDEZ, E.; & LUCENA-ANTÓN, D. (2020). Game-Based Virtual Reality Interventions to Improve Upper Limb Motor Function and Quality of Life after Stroke: Systematic Review and Meta-analysis. *Games Health J.*, 9, 1-10. <https://doi.org/10.1089/g4h.2019.0043>
- GIBBONS, E.M.; NICOLE THOMSON, A.; DE NORONHA, M.; & JOSEPH, S. (2016). Are virtual reality technologies effective in improving lower limb outcomes for patients following stroke – a systematic review with metaanalysis. *Top. Stroke Rehabil.*, 23, 440-457. <https://doi.org/10.1080/10749357.2016.1183349>
- GOUT, L.; HART, A.; HOUZE-CERFON, C.H.; SARIN, R.; CIOTTONE, G.R.; & BOUNES, V. (2020). Creating a Novel Disaster Medicine Virtual Reality Training Environment. *Prehosp. Disaster Med.*, 35, 225-228. <https://doi.org/10.1017/S1049023X20000230>
- HILL, N.T.M.; MOWSZOWSKI, L.; NAISMITH, S.L.; CHADWICK, V.L.; VALENZUELA, M.; & LAMPIT, A. (2017). Computerized cognitive training in older adults with mild cognitive impairment or dementia: A systematic review and meta-analysis. *Am. J. Psychiatry*, 174, 329-340. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2016.16030360>
- HOWARD, M.C. (2017). A meta-analysis and systematic literature review of virtual reality rehabilitation programs. *Comput. Human Behav.*, 70, 317-327. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.013>

- INTEL (2021). *Intel® RealSense™ Technology*. Available online: <https://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/realsense-overview.html> (Accessed on Jan 7th, 2021).
- LAVAR, K.E.; LANGE, B.; GEORGE, S.; DEUTSCH, J.E.; SAPOSNIK, G.; & CROTTY, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst. Rev.*, 2017. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
- LEVIN, M.F.; SNIR, O.; LIEBERMANN, D.G.; WEINGARDEN, H.; & WEISS, P.L. (2012). Virtual Reality Versus Conventional Treatment of Reaching Ability in Chronic Stroke: Clinical Feasibility Study. *Neurol. Ther.*, 1, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s40120-012-0003-9>
- LIN, J.; KELLEHER, C.L.; & ENGSBERG, J.R. (2013). Developing Home-Based Virtual Reality Therapy Interventions. *Games Health J.*, 2, 34-38. <https://doi.org/10.1089/g4h.2012.0033>
- MONTANA, J.I.; MATAMALA-GOMEZ, M.; MAISTO, M.; MAVRODIEV, P.A.; CAVALERA, C.M.; DIANA, B. et al. (2020). The Benefits of emotion Regulation Interventions in Virtual Reality for the Improvement of Wellbeing in Adults and Older Adults: A Systematic Review. *J. Clin. Med.*, 9, 500. <https://doi.org/10.3390/jcm9020500>
- NEURAL (2021). *Esperanza de vida tras un ictus, ¿y ahora qué?* Available online: <https://neural.es/esperanza-de-vida-tras-un-ictus-y-ahora-que/> (Accessed on Jan 9th, 2021).
- OLIVIERI, I.; MERIGGI, P.; FEDELI, C.; BRAZZOLI, E.; CASTAGNA, A.; ROIDI, M.L.R. et al. (2018). Computer Assisted REhabilitation (CARE) Lab: A novel approach towards Pediatric Rehabilitation 2.0. *J. Pediatr. Rehabil. Med.*, 11, 43-51. <https://doi.org/10.3233/PRM-160436>
- PIETRZAK, E.; PULLMAN, S.; & MCGUIRE, A. (2014). Using Virtual Reality and Videogames for Traumatic Brain Injury Rehabilitation: A Structured Literature Review. *Games Health J.*, 3, 202-214. <https://doi.org/10.1089/g4h.2014.0013>
- PLA-SANJUANELO, J.; FERRER-GARCÍA, M.; VILALTA-ABELLA, F.; RIVA, G.; DAKANALIS, A.; RIBAS-SABATÉ, J. et al. (2019). Testing virtual reality-based cue-exposure software: Which cue-elicited responses best discriminate between patients with eating disorders and healthy controls? *Eat. Weight Disord.*, 24, 757-765. <https://doi.org/10.1007/s40519-017-0419-4>
- POURMAND, A.; DAVIS, S.; LEE, D.; BARBER, S.; & SIKKA, N. (2017). Emerging Utility of Virtual Reality as a Multidisciplinary Tool in Clinical Medicine. *Games Health J.*, 6, 263-270. <https://doi.org/10.1089/g4h.2017.0046>
- ROBISON, R.A.; LIU, C.Y.; & APUZZO, M.L.J. (2011). Man, mind, and machine: The past and future of virtual reality simulation in neurologic surgery. *World Neurosurg.*, 76, 419-430. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2011.07.008>

- ROSE, T.; NAM, C.S.; & CHEN, K.B. (2018). Immersion of virtual reality for rehabilitation - Review. *Appl. Ergon.*, 69, 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.01.009>
- YATES, M.; KELEMEN, A.; & SIK LANYI, C. (2016). Virtual reality gaming in the rehabilitation of the upper extremities post-stroke. *Brain Inj.*, 30, 855-863. <https://doi.org/10.3109/02699052.2016.1144146>
- ZYGOURIS, S.; NTOVAS, K.; GIAKOUMIS, D.; VOTIS, K.; DOUMPOULAKIS, S.; & SEGKOULI, S.; et al. (2017). A Preliminary Study on the Feasibility of Using a Virtual Reality Cognitive Training Application for Remote Detection of Mild Cognitive Impairment. *J. Alzheimer's Dis.*, 56, 619-627. <https://doi.org/10.3233/JAD-160518>

Algunas Técnicas y Herramientas para Dificultar el Plagio en Evaluaciones No Presenciales

Joan A. López Martínez

EPSEM. Departament d'Enginyeria Minera, Industrial i TIC (UPC)

Oscar Farrerons Vidal

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

Jose Luis Lapaz

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

Noelia Olmedo

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

Salvador Campderrós, Montserrat Carbonell, Xavier Bastardas, Roger Puig, Joan Jaume Prat, Elisabeth Serra, Jaume Pregonas, Cèsar Arenas, Salvador Soler

EPSEM. Departament d'Enginyeria Minera, Industrial i TIC (UPC)

Resumen

Debido a la pandemia causada por el COVID19, la práctica totalidad de las actividades evaluativas del área de Ingeniería Gráfica y de Diseño, se están realizando en formato telemático. Este hecho genera en los docentes una inseguridad al respecto del plagio entre estudiantes, pues la vigilancia durante la prueba es mucho menos fiable que cuando la prueba se realiza en formato presencial.

Presentamos aquí una metodología para dificultar el plagio entre iguales durante una prueba del área de Ingeniería Gráfica y Diseño, y en general para cualquier área que realice evaluaciones no presenciales con medios informáticos.

Abstract

Due to the pandemic caused by COVID19, practically all the evaluative activities in the Graphic and Design Engineering area are being carried out in telematic format. This fact generates in teachers an insecurity regarding plagiarism among students, since surveillance during the test is much less reliable than when the test is carried out in face-to-face format.

We present here a methodology to hinder plagiarism between equals during a test in the area of Graphic Engineering and Design, and in general for any area that performs non-face-to-face evaluations with computerized means.

1. Introducción

A raíz de la pandemia originada por el COVID19 ya por todos conocida, la actividad docente en nuestras Universidades ha sido modificada radicalmente, así pues, como todas y todos sabemos, entre otros cambios, las actividades presenciales se han reducido a la mínima expresión, y en el mejor de los casos esta consistente en actividades prácticas y de laboratorio.

En lo referente a las actividades evaluativas, y en el área de ingeniería gráfica y de diseño especialmente, dichas actividades se han desplazado prácticamente en su totalidad al formato telemático, esto creemos es debido a diversos factores, uno de ellos es el hecho de que hoy en día prácticamente el uso de herramientas manuales ha desaparecido, y por consecuente, tanto en el caso de las prácticas como en el de las evaluaciones parciales o finales, se usan medios informáticos exclusivamente.

Este hecho junto con la imposibilidad de disponer en nuestras Escuelas de instalaciones físicas suficientes para respetar las medidas de separación y seguridad exigidas por las autoridades sanitarias, ha provocado que, casi de manera natural, todas las actividades evaluativas

en nuestras asignaturas se realicen con herramientas informáticas y de manera telemática.

2. Objetivos

Teniendo en cuenta que las actividades evaluativas en el área de Diseño e Ingeniería Gráfica se realizan casi en su totalidad con herramientas informáticas y en modo telemático, y por tanto, al no poder producirse una vigilancia directa por parte del profesorado sobre las condiciones de autoría de los ejercicios y actividades entregadas por los estudiantes, nuestro principal objetivo con esta publicación es aportar alguna guía o herramienta que pueda ayudar al docente en la tarea de intentar evitar en lo posible el plagio entre estudiantes en esta época de pandemia y tele-docencia obligada.

Además de dicho objetivo, creemos que aparece otro algo más genérico, pues ya no sólo cabe pensar en la situación excepcional generada por la pandemia, si no que las técnicas y herramienta que aquí exponemos pueden ser de utilidad también en un entorno “nuevo-normal” en el que se desee realizar una actividad evaluativa sin apenas vigilancia del docente, por ejemplo, como actividad de autoevaluación con nota numérica realista, verídica y fiable.

3. Metodología

La metodología usada consiste principalmente en generar una actividad diferente aunque de equivalente dificultad para cada estudiante, así se genera una versión única para cada alumno.

Hay que tener en cuenta que esta metodología se puede llevar a cabo a diversos niveles y es por eso que proponemos el siguiente flujo de trabajo, cada docente en cada situación podrá usar todas o algunas de las siguientes herramientas a su voluntad:

1. Escoger la actividad: este paso es quizás el más importante y el que más se ha de meditar y planificar, aquí opinamos que hemos de pensar en un modelo que pueda tener múltiples versiones, medidas y formas de manera natural y sencilla. En el caso de una pieza hemos de pensar en geometrías que puedan parametrizarse dando lugar a tantas versiones como necesitemos, mientras que, en el caso de conjuntos, deberemos pensar en productos o mecanismos que tengan sentido al cambiar sus dimensiones, en estos casos acostumbran a funcionar muy bien las gamas de productos.
2. Distinguir qué parámetros se van a usar: bajo nuestro punto de vista, ya sea al referirnos al entorno pieza o al conjunto, aparecen algunos parámetros que nosotros denominamos dominantes, estos son por ejemplo medidas que si son modificadas obligan a que otras partes de la pieza, u otras piezas vecinas en el caso de un conjunto, cambien sus formas y/o dimensiones.

Para nosotros lo idóneo es trabajar siempre que sea posible con los parámetros dominantes pues de esta manera, al modificar un parámetro dominante estamos cambiando indirectamente y sin ninguna indicación necesaria adicional otras formas y/o medidas de una pieza o conjunto, por ejemplo, si modificamos una rosca de un agujero, es posible que indirectamente debamos modificar el diámetro exterior de la parte de la pieza que contiene la rosca para que esta se pueda realizar, además ese segundo cambio, puede obligar a generar más cambios en otras zonas de la geometría. En el caso de un conjunto, modificar una rosca implica como mínimo afectar a dos piezas de dicho ensamblaje, si en alguna de dichas piezas sucede que la rosca no tiene espacio suficiente para existir, se deberá modificar la geometría exterior de dicha pieza, cosa que muy probablemente redundará en otra modificación indirecta en alguna pieza colindante a ella, generándose así una hipotética reacción en cadena de modificaciones.

Trabajar con parámetros dominantes puede generar variaciones a modo de reacción en cadena que obligan a que cada estudiante no sólo deba tener medidas diferentes, sino que además tenga formas ligeramente diferentes y no concretas, esto por tanto nos genera soluciones aleatorias y diferentes para cada estudiante, y en la práctica hace injustificable que dos piezas de estudiantes diferentes tengan las mismas medidas. Así el trabajo con parámetros dominantes dificulta considerablemente el plagio.

3. Controlar el número de versiones necesarias

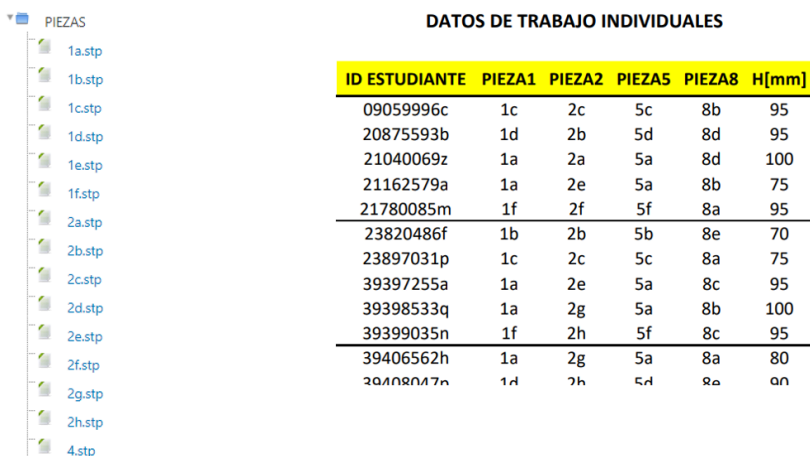
Supongamos por ejemplo que tenemos un conjunto en el que hemos identificado 3 parámetros dominantes, y que para cada uno de ellos hemos prestablecido que éste pueda tomar 6 valores diferentes, esto nos da un ejercicio con 63 (216) combinaciones posibles, o si por ejemplo necesitásemos generar 125 (53) versiones diferentes sería suficiente con trabajar con 3 parámetros dominantes de 5 valores posibles cada uno.

{1a, 2a, 3a}, {1a, 2a, 3b}, {1a, 2a, 3c}, {1a, 2a, 3d}, {1a, 2a, 3e}, {1a, 2b, 3a}, {1a, 2b, 3b}, {1a, 2b, 3c}
 {1a, 2b, 3e}, {1a, 2c, 3a}, {1a, 2c, 3b}, {1a, 2c, 3c}, {1a, 2c, 3d}, {1a, 2c, 3e}, {1a, 2d, 3a}, {1a, 2d, 3b}
 {1a, 2d, 3d}, {1a, 2d, 3e}, {1a, 2e, 3a}, {1a, 2e, 3b}, {1a, 2e, 3c}, {1a, 2e, 3d}, {1a, 2e, 3e}, {1b, 2a, 3a}
 {1b, 2a, 3c}, {1b, 2a, 3d}, {1b, 2a, 3e}, {1b, 2b, 3a}, {1b, 2b, 3b}, {1b, 2b, 3c}, {1b, 2b, 3d}, {1b, 2b, 3e}
 {1b, 2c, 3b}, {1b, 2c, 3c}, {1b, 2c, 3d}, {1b, 2c, 3e}, {1b, 2d, 3a}, {1b, 2d, 3b}, {1b, 2d, 3c}, {1b, 2d, 3d}
 {1b, 2d, 3e}, {1b, 2e, 3a}, {1b, 2e, 3b}, {1b, 2e, 3c}, {1b, 2e, 3d}, {1b, 2e, 3e}, {1c, 2a, 3a}, {1c, 2a, 3b}
 {1c, 2a, 3c}, {1c, 2a, 3d}, {1c, 2a, 3e}, {1c, 2b, 3a}, {1c, 2b, 3b}, {1c, 2b, 3c}, {1c, 2b, 3d}, {1c, 2b, 3e}
 {1c, 2c, 3a}, {1c, 2c, 3b}, {1c, 2c, 3c}, {1c, 2c, 3d}, {1c, 2c, 3e}, {1c, 2d, 3a}, {1c, 2d, 3b}, {1c, 2d, 3c}
 {1c, 2d, 3d}, {1c, 2d, 3e}, {1c, 2e, 3a}, {1c, 2e, 3b}, {1c, 2e, 3c}, {1c, 2e, 3d}, {1c, 2e, 3e}, {1d, 2a, 3a}
 {1d, 2a, 3b}, {1d, 2a, 3c}, {1d, 2a, 3d}, {1d, 2a, 3e}, {1d, 2b, 3a}, {1d, 2b, 3b}, {1d, 2b, 3c}, {1d, 2b, 3d}
 {1d, 2b, 3e}, {1d, 2c, 3a}, {1d, 2c, 3b}, {1d, 2c, 3c}, {1d, 2c, 3d}, {1d, 2c, 3e}, {1d, 2d, 3a}, {1d, 2d, 3b}
 {1d, 2d, 3c}, {1d, 2d, 3d}, {1d, 2d, 3e}, {1d, 2e, 3a}, {1d, 2e, 3b}, {1d, 2e, 3c}, {1d, 2e, 3d}, {1d, 2e, 3e}
 {1e, 2a, 3b}, {1e, 2a, 3c}, {1e, 2a, 3d}, {1e, 2a, 3e}, {1e, 2b, 3a}, {1e, 2b, 3b}, {1e, 2b, 3c}, {1e, 2b, 3d}
 {1e, 2b, 3e}, {1e, 2c, 3a}, {1e, 2c, 3b}, {1e, 2c, 3c}, {1e, 2c, 3d}, {1e, 2c, 3e}, {1e, 2d, 3a}, {1e, 2d, 3b}
 {1e, 2d, 3c}, {1e, 2d, 3d}, {1e, 2d, 3e}, {1e, 2e, 3a}, {1e, 2e, 3b}, {1e, 2e, 3c}, {1e, 2e, 3d}, {1e, 2e, 3e}

Figura 1. Algunas de las maneras de combinar 3 parámetros con 5 versiones de cada uno.

4. Formatear adecuadamente la información del enunciado

Una manera que creemos muy apropiada a la hora de facilitar parte de la información al estudiante es proporcionarle un archivo CAD de partida en formato neutral (step o iges por ejemplo). Los docentes podemos generar una o diversas piezas con parámetros cambiantes. A continuación, a cada versión le damos un nombre de archivo diferente, para posteriormente guardar todos esos archivos en formato neutral, i finalmente indicar en el enunciado una lista de piezas a usar en la actividad para cada alumno. La carpeta de piezas a la que acceden los estudiantes puede estar en Atenea y cada estudiante ha de descargar sólo las suyas.



DATOS DE TRABAJO INDIVIDUALES						
ID ESTUDIANTE	PIEZA1	PIEZA2	PIEZA5	PIEZA8	H[mm]	
09059996c	1c	2c	5c	8b	95	
20875593b	1d	2b	5d	8d	95	
21040069z	1a	2a	5a	8d	100	
21162579a	1a	2e	5a	8b	75	
21780085m	1f	2f	5f	8a	95	
23820486f	1b	2b	5b	8e	70	
23897031p	1c	2c	5c	8a	75	
39397255a	1a	2e	5a	8c	95	
39398533q	1a	2g	5a	8b	100	
39399035n	1f	2h	5f	8c	95	
39406562h	1a	2g	5a	8a	80	
39408047n	1d	2h	5d	8a	90	

Figura 2. Izq.: Lista de archivos en Atenea. Dcha.: lista parcial de datos para cada estudiante.

Efectivamente pueden tener la tentación de bajar e inspeccionar los archivos de los demás alumnos, pero eso sólo les serviría para comprobar que efectivamente las piezas de los demás son diferentes. Además, como disponen de un tiempo máximo para realizar la

actividad, la mayoría de ellos, no dedicará muchos recursos a descifrar las versiones de los demás.

5. Introducir parámetros fantasmas

Otro aspecto a tener en cuenta es la posibilidad de dar la sensación al estudiante que plagiar es demasiado difícil y que por tanto merece la pena intentar realizar la actividad por sus propios medios, esto se puede conseguir añadiendo lo que podríamos llamar parámetros fantasmas: variables dimensionales, nombres de archivo a descargar o similar que aparentemente son diferentes pero que realmente son

Según la lista adjunta, cada estudiante tiene su variable H y sus propias piezas 1,2,5 y 8. Se proporcionan además las piezas 4, 12 y 13, cuyas medidas se podrán modificar si se cree necesario.

Con estos datos para cada estudiantes, se pide:

- 3d del conjunto en formato CATIA y step - 40%
- 2d del plano de conjunto correctamente seccionado (CATIA y pdf) - 35%
- 2d de las piezas 3, 11 y 14 perfectamente acotados (CATIA y pdf) - 25%

No será necesario modelar las piezas 15 y 16

Se entrega un archivo comprimido en Atenea

Si un estudiante no trabaja con sus piezas asignadas, será suspendido automáticamente

Tiempo: 2h y 15'

142 AUT01 210119

16	SELLO
15	PASADOR ELÁ
14	TAPON
13	ESTOPA
12	PRENSA-ESTI
11	EJE
10	ARANDEL
9	TUERCA
8	VLANT
7	GUIA SUPER
6	SEPARADI
5	TUERCA
4	APDOYO
3	GUIA
2	TENSOR
1	CUERPC
MARCA	DENOMINAI

Figura 3. Ejemplo de un posible enunciado usando parámetros y proporcionando algunos archivos neutrales personalizados.

exactamente idénticos. Por ejemplo, supongamos que guardamos el mismo tornillo 50 veces con 50 nombres diferentes aparentando que en el interior de cada archivo tenemos geometrías distintas.

Así la opción de trabajar con parámetros fantasmas puede ayudarnos a dar la sensación de que copiar es demasiado arriesgado y/o laborioso. Si además mezclamos parámetros fantasmas con parámetros dominantes el resultado puede ser muy disuasorio.

6. Dificultar el plagio

Como todas y todos sabemos, el conjunto de estas medidas contribuye a evitar, disuadir o dificultar el plagio entre estudiantes mientras estos realizan una actividad, pero efectivamente, aún en estas condiciones no podemos estar seguros de que los alumnos realizan su trabajo de manera honrada, pues existiría la posibilidad no remota que un estudiante de cursos superiores, un titulado o un profesional de esta materia les pueda estar dando soporte a través de la red. Creemos que esto es inevitable, pues la metodología aquí presentada es sólo válida para evitar que un grupo de alumnos pueda resolver todas las versiones posibles de manera conjunta en el tiempo que dura la prueba. Así pues, esta metodología no serviría para combatir la suplantación de identidad de un estudiante a modo individual.

4. Conclusiones

Destacamos que la parametrización, la automatización y la programación de los sistemas CAD se convierten en herramientas de gran utilidad para generar versiones distintas de una misma actividad, pues genera geometrías y/o enunciados personalizadas para cada alumno.

Después de todo lo expuesto denunciemos que actualmente a la hora de realizar actividades en formato telemático y usando medios

informáticos, no se tiene ninguna garantía de que la actividad entregada por un estudiante esté realmente elaborada por él.

Creemos que en el futuro se debiera trabajar para resolver el problema de la autenticación de la autoría de una actividad, se nos ocurre por ejemplo, obligar a los usuarios a que ejecuten algoritmos que registren la identidad del ordenador desde donde se está elaborando el archivo a entregar con una cierta frecuencia.

Recomendamos a los docentes que realicen actividades de evaluación telemáticas con medios informáticos, que usen alguna o todas estas técnicas para intentar dificultar en lo posible el plagio entre estudiantes, pues aunque no se trate de una solución absoluta ni definitiva, sin duda dicha metodología da más veracidad a los resultados de la prueba.

Si somos capaces de resolver el problema de la verificación de la autoría, creemos que en un futuro, incluso más allá de la pandemia, estas técnicas pueden potenciarse a modo de herramientas para realizar pruebas no presenciales con muy buena fiabilidad en cuanto a sus resultados académicos.

Referencias

- DELGADO NOYA, I. (2016). *Optimización de las estrategias metodológicas del diseño y gestión de las actividades autónomas utilizando las tecnologías de la información y las telecomunicaciones*. TDX (Tesis Doctorals En Xarxa). Retrieved from <http://www.tdx.cat/handle/10803/383760>
- LAPAZ CASTILLO, J. L.; VOLTAS AGUILAR, J.; BERMÚDEZ RODRÍGUEZ, F; & MARQUÉS CALVO, J. J. (2012). Evaluación técnico-funcional de materias y asignaturas en un entorno virtual de aprendizaje. Una experiencia piloto. *III Jornadas Internacionales de Campus Virtuales*, 113-116.
- PARRA CASTRILLÓN, J. E. (2020). Prácticas de docencia tradicional en ambientes de educación virtual. *Academia y Virtualidad*, 13(1), 93. Retrieved from <http://mendeley.csuc.cat/fitxers/d1c38ec68e525ea655f4eca5eaf9cd4e>
<https://doi.org/10.18359/ravi.4295>

El Disseny Participatiu: Dinàmiques Co-Creatives a Projectes Acadèmics

Cesc Mestres-Domènech

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

Lucía Soto Rodríguez

ESEIAAT. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (Becària de
recerca - EGD (UPC)

Jose Luis Lapaz Castillo

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

Resum

Fomentar la co-creació amb equips multidisciplinaris dels diferents graus d'enginyeria que es cursen a la ESEIAAT generaria projectes més innovadors i més pròxims a la realitat industrial. Alhora, entenem que les empreses reclamen en els seus departaments de R+D aquest perfil d'enginyer multidisciplinari i, cada vegada més, la creativitat forma part rellevant en la innovació.

Per tant, disposar d'un context creatiu, tant en espai com en recursos, a la ESEIAAT esdevindria una avantguarda en línies d'innovació docent a través de les enginyeries i els seus projectes acadèmics.

El següent article tracta de mostrar el procés de disseny i desenvolupament en enginyeria, i com d'important és definir un bon repte de disseny i com de determinant és desenvolupar un moment d'ideació en una atmosfera co-creativa.

A les conclusions, es pretén exposar propostes de millora per fomentar la co-creació a la ESEIAAT i per tant, projectes més innovadors.

Abstract

Encouraging the co-creation with multidisciplinary teams of the different degrees of engineering that are studied at ESEIAAT would generate more innovative projects and closer to the industrial reality. At the same time, we understand that companies are demanding in their R&D departments, this skill of a multidisciplinary engineer and, increasingly, creativity is an important part of innovation.

Therefore, having a creative context, both in space and resources, at ESEIAAT would become a vanguard in lines of teaching innovation through engineering and its academic projects.

The following article tries to show the process of design and development in engineering, and how important it is to define a good design challenge and how important it is to develop a moment of ideation in a co-creative atmosphere.

In the conclusions, it is intended to set out proposals for improvement to encourage co-creation at ESEIAAT and therefore more innovative projects.

1. El procés de disseny

El procés de disseny no és totalment un procés guiat, i ni molt menys un procés lineal. I això succeeix per dos motius: la definició del repte de disseny, i el moment en què es decideix com s'inicia el projecte i conseqüentment a dissenyar. Ambdós conceptes van molt lligats entre si, i de fet, molt sovint tan a la indústria com a la Universitat, mai es tenen clar quan com i quan succeeixen cadascun d'aquests.

Comencem pel primer, la definició del repte de disseny. Sovint, quan es proposa desenvolupar un projecte, ho iniciem creant un títol i una definició. Fixem-nos-hi que quan creem un Treball Final de Grau (TFG) a la Intranet d'ofertes de TFG de l'ESEIAAT Justament, el primer que hem de descriure és un títol i una descripció (Figura 1):

Prenem aquest exemple perquè és una mostra molt clara per a reflexionar sobre la següent qüestió: Aquesta descripció és el repte? Ha de ser el *briefing* de disseny? Seran uns requeriments de projecte? Una

Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa. ESEIAAT



Ofertes de treballs de final d'estudis

Títol ★

Descripció ★

Figura 1. Dades bàsiques proposta TFG (ESEIAAT).

definició de la necessitat de la societat? Un problema real dels usuaris? Una oportunitat del mercat? La proposta de valor?

Així doncs, clarament serà necessari definir què és el repte de disseny. En el següent capítol es clarificarà com hauria de definir-se el repte de disseny als projectes. Però no oblidem el segon concepte, el moment del procés de disseny i molt concretament el moment creatiu.

Segurament té molt a veure amb la definició del tipus de repte de disseny. Per entendre-ho, anticipem-nos a visualitzar el procés de disseny basat en metodologia *Design Thinking* (DT) tal i com proposa la consultora de disseny estratègic IDEO (IDEO, 2021b). Com es detalla en següents apartats, DT planteja tres moments d'activitats no lineals durant el disseny: Inspiració, Ideació i Implementació (IDEO, 2021a) (Figura 2).

Per tant, si definim un repte de disseny molt obert, el moment de disseny serà previ a la inspiració. Si el projecte ve definit amb una proposta de valor clara, el moment de disseny succeirà en una activitat d'ideació. I si partim d'un concepte de disseny que s'ha de desenvolupar, l'activitat serà una implementació industrial i de negoci. Plantejat d'aquesta manera pot semblar molt ambigu, per tant, deixeu-nos que es desenvolupin en els següents apartats tots aquests conceptes.

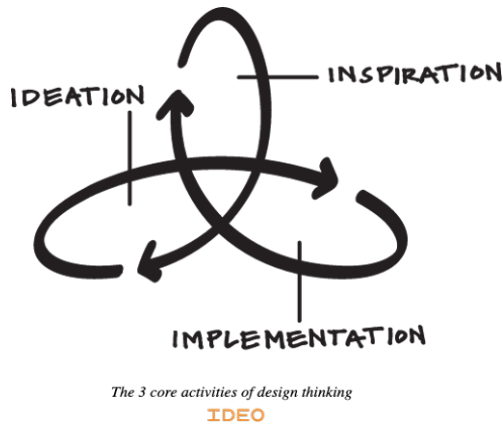


Figura 2. Activitats centrals del design thinking (DesignthinkingIDEO).

1.1. Definició del repte de disseny

Segurament el repte de disseny és un moment molt prematur del procés de disseny. Aquest, ha de basar-se en uns desitjos molt genèrics de la societat (o usuaris), fonamentat per també alguna problemàtica o necessitat molt genèrica.

Per l'èxit de qualsevol projecte empresarial, definir el repte ha de ser clau en el camí de la innovació. ACCIÓ, l'agència pública per a la competitivitat de l'empresa catalana, proposa en la seva guia "Com esdevenir una empresa innovadora" (Bayó & Camps, 2015) que ha de ser fonamental definir de forma rigorosa el repte al qual s'enfronta l'equip d'innovació i que aquest s'ha de resoldre segons els 5 passos següents: formular el repte, clarificar el repte, identificar beneficis i beneficiaris, analitzar alternatives i redactar el repte. Ho presenta amb un procés molt similar al procés d'ideació de disseny però amb una etapa més inicial i sense intenció de resoldre les millors idees, sinó, definir el millor repte.

La mateix guia exposa que els reptes poden tenir el seu origen en quatre aspectes diferents:

- Oportunitat externa (exemple: necessitat no satisfeta d'un segment de clients).
- Amenaça externa (exemple: llançament d'una nova tecnologia per part d'un competidor).
- Oportunitat interna (exemple: actiu utilitzat per sota de la seva capacitat màxima i que podria ser explotat per oferir noves solucions, fins i tot en mercats diferents als que opera actualment l'empresa).
- Amenaça interna (exemple: nivells de productivitat inferiors a la mitjana del sector).

Fixem-nos-hi amb un parell d'exemples de reptes que han succeït com a productes innovadors:

El cas Nespresso, que va fixar el seu repte cap a una necessitat que tenia un segment de mercat que cercava consumir un cafè de qualitat en un context molt elegant i exclusiu. Aquest cas d'innovació basada en el mercat ho explica molt bé el professor Sala i Martín en el programa d'Economia en Colors (CCMA, 2017) de la Corporació Catalana de Mitjans Audiovisuals (CCMA). El professor remarca que el repte principal no era crear una cafetera, ni un cafè. La potència era crear la *elegant boutique*, que són les botigues Nespresso.

Un altre cas de definició de repte resolt en un producte, és el cas de la tauleta digital iPad, on Apple va apostar en proposar un repte de producte que no existia en el mercat, i que oferia funcionalitats que tenia el iPhone, però no el MacBook i viceversa. El mateix Steve Jobs (Jobs, 2010) ho explicava el dia que donava llum al nou producte l'any 2010.

1.2. Inspiració

Si ens centrem en la primera fase de la metodologia DT, ens trobem amb una etapa de plantejament de la direcció que prendrà el nostre disseny, utilitzant tècniques enfocades a empatitzar amb els usuaris o les persones que directa o indirectament estan implicades en el nostre repte.

Alhora, no podem obviar altres vies d'inspiració relacionades amb el mercat, on cercar oportunitats, entendre les tendències i trobar nínxols. Relacionats amb les tecnologies, tant les emergents, com oportunitats de nous materials, fabricació additiva, intel·ligència artificial, big-data, etc., com processos i materials més tradicionals.

En tots els casos, en el moment d'inspiració han de sorgir indicadors que determinaran els camins d'ideació. Aquest aspectes s'amplien en el següent apartat. En disseny, d'aquests indicadors s'anomenen “insights”.

1.3. Ideació

En aquesta segona fase, l'objectiu és la generació del màxim nombre d'idees, analitzant la informació obtinguda a la fase anterior, utilitzant tècniques de filtració, creació i prototipatge per tal de confirmar o descartar idees. D'entre aquestes tècniques, la “Guia de Camp pel Disseny Centrat en l'Ésser Humà” d'IDEO (ideo.org, 2011) fa menció de les sessions de co-creació, les quals explicarem en més detall en l'apartat 2.2.

L'objectiu final serà, després d'una ponderació d'idees sorgides en un procés creatiu, resoldre un únic concepte de producte o servei. Un concepte formalitzat i validat d'una forma rigorosa per que funcioni com a bon disseny.

1.4. Implementació

Per últim, la implementació parteix d'un disseny definit i testejat en forma de concepte, i busca fer-lo realitat. Això es desplegarà en dues vies molt clares:

- Desenvolupament industrial de producte i/o servei: Descriure la viabilitat tècnica per que el producte i/o servei funcioni i pugui ser manufacturat amb la màxima qualitat. Alhora, resoldre un producte que sigui responsable socialment i ambientalment.

- Desenvolupament de negoci: Considerar tots els detalls per a que el producte i/o servei es pugui implementar en el mercat amb un cost que els usuaris o clients estiguin disposats a pagar.

Segurament, des del disseny i l'enginyeria, la implementació industrial és quelcom un procés més pròxim, però almenys, des del disseny i l'enginyeria de producte no podem obviar el desplegament de negoci. Recuperant la metodologia DT, la guia “Design Thinking para la innovación estratégica” (Mootee, 2014) justament intenta explicar el que no ens ensenyen en les escoles de negoci ni en les de disseny i, que el procés de DT, és estratègic per ambdós contextos.

Les tècniques utilitzades seran, per tant, de definició d'estratègia, recerca de recursos, testeig a gran escala i avaluació, entre d'altres.

2. El moment d'ideació

Un cop definit el repte de disseny, arriba el moment d'ideació. Moment el qual hem introduït en l'apartat anterior. Per tant, recuperarem els indicadors que han inspirat a resoldre una problemàtica, necessitat o oportunitat, i que seran la base per descriure una proposta de valor clara.

Tal i com es descriu en els següents apartats, a partir d'una proposta de valor clara, a través de diferents dinàmiques creatives, sorgiran idees que resolguin en part un problema o necessitat dels usuaris o una oportunitat de mercat o negoci. Es formalitzaran aquestes idees per ser validades en un context participatiu i així poder valorar quin serà el millor concepte de producte i/o servei.

2.1. La proposta de valor

Es tracta d'analitzar la solució que hem dissenyat des del punt de vista d'allò que oferim, els guanys i pèrdues de les persones que en faran ús. El procés de creació d'aquesta proposta requereix doncs per ser vàlida, inevitablement, tenir en compte les necessitats i/o desitjos dels usuaris/

àries. Existeixen múltiples vies per definir aquesta proposta, entre les quals es troba la utilització de la següent plantilla (Figura 3), que relaciona la proposta de valor amb el segment d'usuari.

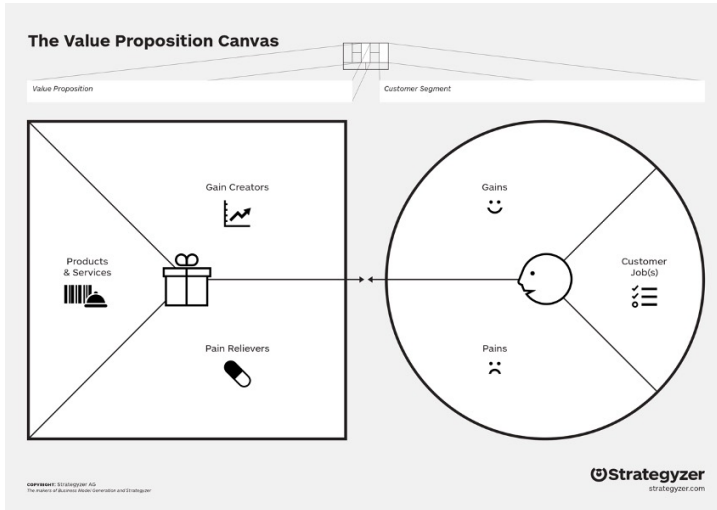


Figura 3. Plantilla de proposta de valor (Strategyzer).

2.2. Dinàmiques creatives

La creació d'idees va molt més enllà d'una pluja d'idees realitzada de manera grupal. Per tal d'aconseguir el major nombre d'idees i de major qualitat, són necessàries les dinàmiques creatives. Aquestes són activitats i/o tècniques que serveixen per guiar aquest procés, tant individual com col·lectivament. La següent guia, “Cómo Tener Ideas Geniales: Guía de Pensamiento Creativo” (Ingledeu, 2017), defineix diferents tècniques i exemplifica amb casos. Alguns exemples interessants d'aplicar per al disseny industrial i desenvolupament de producte que proposa la guia:

- Visualitzar-ho: El simple acte de dibuixar les idees ajuda a compartir els primers pensaments amb l'equip de disseny. Sovint,

s'utilitzen *storyboards* per entendre un episodi en ús d'un producte i/o servei.

- Actuar com un nen: Desfer-se de limitacions de la vida adulta i actuar com un nen, ajuda a ressorgir la creativitat novament amb entusiasme.

- Què faria Terry?: És un mètode basat la tècnica de lateral *thinking*. Tracta de cercar la inspiració en veu d'una altra persona, pot ser un referent, d'un altra context, pot ser la competència, o altres marques, etc.

- Cercar un geni interior: Intentar aprofitar altres invents i les seves solucions i extrapolar-ho al nostre problema. Analitzar altres productes, màquines, dispositius, materials, altres fites de l'enginyeria, etc.

- Preguntar a la natura: Sovint, les millors solucions de l'enginyeria estan a la natura, a les plantes i els animals. Formalitzar idees inspirades en la natura a vegades pot ser extraordinari.

- Ves a la fàbrica: Observar i experimentar com es fabriquen les coses. Els seus processos i materials que s'utilitzen poden portar a nous descobriments.

- Etc.

La realització d'aquestes dinàmiques es realitzen participativament amb l'equip de disseny, però també amb els/les usuaris/àries finals i/o altres persones externes. Aquest procés participatiu en disseny és el que es considera la co-creació. Recuperant tècniques creatives com les esmentades anteriorment, i en uns moments de generació d'idees de forma convergent i divergent, s'aniran filtrant i agrupant idees i opcions que resolguin el producte o servei cap a un concepte final.

2.3. Formalització i validació d'idees amb usuaris

Un cop s'ha fet ús de les dinàmiques creatives i s'han obtingut una sèrie de propostes, és necessari concretar-les, per tal de presentar-les als usuaris/àries i conèixer la seva acceptació. Aquest procés de validació facilita l'obtenció d'informació vital que es traduirà en un millor disseny i en un estalvi de recursos en tenir una perspectiva externa prèvia a la implementació del disseny. Es tracta doncs d'un procés iteratiu, en el qual el feedback rebut portarà a nous processos de creació d'idees que serviran per arribar a un concepte final.

La formalització, a través d'un prototip lleuger o artefacte, ajuda sense cap mena de dubte en aquesta validació formal i de funcions bàsiques del producte i/o servei. Aquests prototips o maquetes es resolen amb elements bàsics i fàcils de treballar com escumes, caixes de cartró, plastilina, *storytellings*, *sketching*, *lego-kits*, etc. Sovint, i per una millor presentació de propostes en un context de màrqueting, també es poden treballar maquetes virtuals basades en representacions renderitzades.

2.4. El concepte de disseny

Normalment, es surt d'una dinàmica creativa amb un grup de dues o tres idees. Aquestes, s'hauran de valorar d'una forma qualitativa en base a la validació dels usuaris treballada anteriorment, o d'una forma més quantitativa a través d'una taula ponderada de funcionalitats i característiques que el producte o servei oferirà.

En tots els casos, es resoldrà un concepte de disseny que s'alineï amb el repte que es planteja al principi de projecte. Sovint, el procés de disseny acaba en aquest concepte i és a partir d'aquest moment on, des de l'enginyeria de producte, es resoldrà la viabilitat tècnica del producte.

3. Com dinamitzar els processos d'ideació a l'ESEIAAT?

La pregunta que sorgeix, havent definit el procés de disseny i el moment d'ideació, és com es pot aplicar aquest coneixement en el cas

particular de l'ESEIAAT, de tal manera que existeixin dinàmiques de co-creació als projectes acadèmics entre alumnes de diferents graus, formant així equips multidisciplinaris. Per donar resposta a aquesta qüestió, ens podem focalitzar en els següents aspectes:

3.1. El context actual: les aules

Un dels elements que té una gran influència en els processos d'ideació és l'entorn en el qual es realitzen. Actualment a l'ESEIAAT l'entorn principal que s'ofereix als alumnes són les aules, sobre les quals podem fer una diferenciació en tres tipologies: aules magistrals, aules d'ordinadors i aula IKEA (Figura 4).

Les dues primeres són bastant similars en quant a recursos, oferint un espai amb taules, pissarra i pantalla de projecció amb capacitat per a grups grans, amb la diferència de l'accés a ordinadors de sobretaula (Figura 5). La tercera és una proposta molt similar a les aules magistrals, de menor capacitat i amb una major flexibilitat pel que fa a la disposició del mobiliari.

Existeix un altre tipologia d'espai a l'ESEIAAT, que seria l'espai de prototipatge. Aquest es veu representat pel Fablab Terrassa, el qual està situat dins la universitat i ofereix eines i màquines per a la fabricació digital.

No obstant, aquests espais i els recursos que s'ofereixen tenen un ampli marge de millora per arribar a l'estat òptim que permet realitzar dinàmiques de co-creació amb èxit. És interessant per exemple, qüestionar-se com és que alguns estudiants opten per utilitzar les sales de menjador o espais externs a la universitat per a realitzar, no només processos d'ideació, si no qualsevol tipus de treball col·laboratiu. Potser és una qüestió de confort acústic o lumínic? De capacitat dels espais? De grau de llibertat respecte a les activitats que s'hi permeten realitzar?

En els següents apartats oferim una finestra a les necessitats que poden ser resoltes per tal de millorar l'experiència de les dinàmiques de co-creació a l'ESEIAAT.

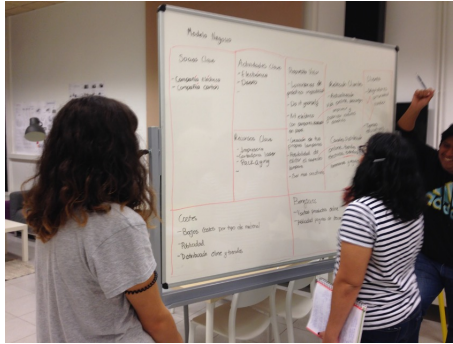


Figura 4. Aula IKEA en un procés creatiu de model de negoci al MDB.



Figura 5. Procés creatiu “Marshmallow challenge” a MOP Aula 008.

3.2. Espais creatius: Innovation Labs

En primer lloc, veiem com a universitats internacionals de l'àmbit del disseny, la innovació, l'enginyeria i l'emprenedoria, els espais de creació han evolucionat cap al concepte d'Innovation Labs. Alguns exemples són el MIT Media Lab (Massachusetts Institute of Technology (MIT), 2021) i el MIT D-Lab (MIT), els Delft Design Labs (Delft University of Technology) (TU Delft, 2021), el TU/e Innovation Space (Eindhoven University of Technology) (Eindhoven University of Technology, 2021) o els Design Labs del Politecnico di Milano (POLITECNICO DI MILANO, 2017).

Aquests espais tenen en comú que es tracta d'espais col·laboratius, en els quals tant estudiants de diferent disciplines, com professors, professionals, companyies i altres entitats poden unir esforços en projectes aollits sota temàtiques molt variades. Es tracta, per tant, d'espais experimentals pensats per promoure la cooperació i la generació d'idees innovadores. És per això que es dissenyen per a ser espais flexibles, oferint àrees de reunió, exhibició, prototipatge ràpid, fabricació, menjador, etc. complementats amb serveis de mentories i de suport al desenvolupament dels projectes.

Altres Universitats de disseny del país, han optat per obrir la Universitat a altres espais on fomentar la co-creació o simplement la creació. Són espais com el centre IAAC (Institut d'Arquitectura Avançada de Catalunya) (IAAC, 2021) i altres ateneus de fabricació (FabLabs), on existeixen eines per a formalització d'idees en prototips senzills i funcionals; Hangar de Barcelona (Centre de producció i recerca d'arts visuals) (Fundació AAVC Hangar, 2021), on desenvolupar eines de producció visual en un espai efímer; el propi centre de documentació del museu del disseny (dHUB) (Ajuntament de Barcelona, 2021), l'espai TMDC (Taller para la Materialización y el Desarrollo de (grandes) Conceptos SCCL, 2021), un espai de prototipatge i fabricació, El MATERFAD (Federació de les Arts Decoratives, 2021), una biblioteca

de materials o el Centre Català del Plàstic (UPC (Universitat Politècnica de Catalunya), 2021a), per posar alguns exemples.

3.3. Eines creatives: Toolkits

Un segon element a considerar, són el que anomenarem eines creatives. Aquestes seran les tècniques/activitats que es realitzaran a la fase de generació d'idees, que agrupades segons certs criteris, formen els *toolkits*. Els *toolkits* poden prendre múltiples formes: instruccions per a realitzar tècniques creatives (la “Guia de Camp pel Disseny Centrat en l'Ésser Humà” d'IDEO), jocs de cartes, packs de materials i elements gràfics, etc. L'objectiu és aportar un cert ordre i estructura que permet un desenvolupament progressiu del procés de creació. I en definitiva, agilitzi el procés creatiu.

Un clàssic és el BOOST Creative Toolbox de LEGO (Figura 6), que fomenta la creativitat en una immersió entra la interacció i la robòtica molt tècnica i creativa, basat en un model propi de programació molt simple que ve controlat sota un Arduino i es pot utilitzar amb una aplicació mòbil d'una forma simple d'aprenentatge.

Un material molt interessant és el que proposa Luki Huber en el seu *Manual Thinking* (Huber, 2021) i en la seva metodologia per utilitzar eines i espais de co-creació (Figura 7). Apart de la metodologia, els materials són molt senzills, uns formats de paper que recorden als antics mapes de carretera, una serie de etiquetes adhesives per generar mapes de concepte a través del que anomena *Think Writing* i un espai on poder emmagatzemar materials per la inspiració. L'espai de Luki Huber ho resol amb uns recipients transparents disposats a la paret per poder visualitzar bé tots aquests materials.

Tots aquests materials es poden adquirir a la seva botiga on-line.



Figura 6. BOOST Creative Toolbox (LEGO)

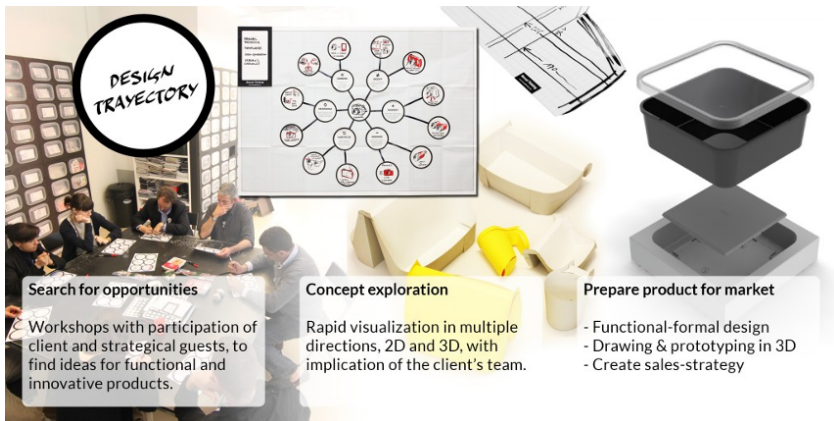


Figura 7. Espai Luki Huber i cines (manualthinking / lukihuber).

3.4. Formalització: prototips i artefactes senzills

Una part fonamental del procés de disseny és la seva formalització, és a dir, la traducció de les idees en prototips parcials o totals amb els elements bàsics que en permetin entendre l'idea i conseqüentment tenir un suport per a la seva validació. La guia d'ACCIÓ que hem comentat abans, en fa una classificació entre els objectius que poden perseguir (aprendre, comunicar, explorar, etc.) i el nivell de fidelitat (d'inspiració, d'evolució o de validació).

Normalment, per una interacció per conèixer les funcionalitats bàsiques i sobretot la volumetria, un artefacte senzill, és suficient. Amb materials molt bàsics, com poden ser el cartró, escuma o 3Dprint, podem donar volum a un producte i explicar en un entorn participatiu quin és el pre-concepte (Figura 8).

Podem prototipar també sistemes o serveis senzills d'una aplicació amb un “mockup” gràfic (Figura 9).

Fins i tot, podem prototipar un model de negoci utilitzant la plantilla *Business Model Canvas* (Osterwalder, 2011) (Figura 10) que proposa l'autor Alexander Osterwalder en la seva guia “Generación de modelos de negocio”.

3.5. Validació amb usuaris: focus group

A l'apartat 2.4 hem fet referència a la validació d'idees i la seva rellevància en el procés d'ideació. En aquest últim apartat, volem focalitzar-nos en un dels mètodes principals utilitzats amb aquesta finalitat: els *focus groups*. Aquest mètode consisteix, a grans trets, en una entrevista grupal, el valor de la qual resideix en la interacció entre els participants. Aquest mètode qualitatiu permet una major llibertat d'expressió i l'anàlisi de la percepció dels participants en un context social, guiats per un mediador principal.

Si la validació que fan els usuaris és contra un prototip treballat en el moment de formalització de les idees, evidentment l'anàlisi que se'n farà



Figura 8. Prototip senzill per interacció amb usuari.

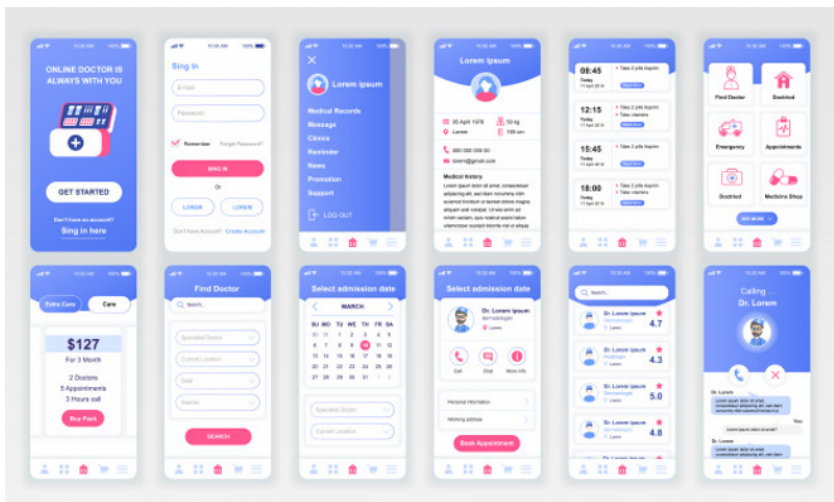


Figura 9. Mockup aplicació mòbil ([freepik.es](https://www.freepik.es)).

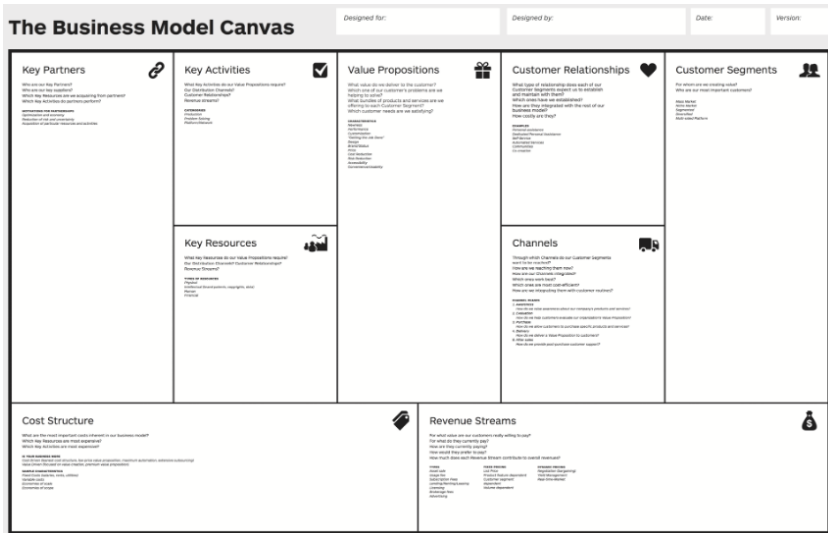


Figura 10. The Business Model Canvas (Alexander Osterwalder)

serà de molta més qualitat. No obstant, que els usuaris tinguin l'oportunitat de poder representar en un model de “storytelling” la proposta de producte o servei per detectar detalls a considerar per a la conceptualització de producte, pot ser prou potent.

En aquest sentit, obrir la Universitat i que existeixin espais per fomentar els *focus groups* amb usuaris reals, pot resultar d'una forma molt real i precisa una oportunitat en la validació d'idees.

3.6. Conclusions per a la dinamització de processos creatius a PESEIAAT

Segurament els espais dels que es disposen i el context arquitectònic són genials per realitzar una fàcil transformació cap a un entorn creatiu. Evidentment, un context multidisciplinar tecnològic, encara ho ha de fer més fàcil per fomentar les sinergies entre els Graus d'Enginyeries.

En aquest sentit i, basant-nos en la ressenya d'aquesta modesta publicació, construir un espai co-creatiu on es disposen d'eines per a la multidisciplinarietat, prototipatge, exposició i validació d'idees, etc., és una oportunitat interessant.

Per últim, fem una reflexió més enllà de les particularitats dels espais o de les màquines i eines de prototipatge. Hem comentat que les propostes de millora facilitaran un entorn més innovador, on els equips multidisciplinaris trobaran espais on col·laborar. La realitat és que aquests canvis simplement ajusten el desnivell entre la realitat acadèmica universitària i la realitat professional, que sempre ha estat basada en aquesta col·laboració. La bona notícia és que l'ESEIAAT ja en té d'experiència en aquesta tipologia de projectes, en són exemples el Creative Lab i el UPC Ecoracing. Es tracta doncs d'aconseguir que el que ara és excepcional, es converteixi en la norma general.

Per arribar a aquest objectiu, fa falta que en el context actual de professors com a dissenyadors de les assignatures, existeixi la voluntat de modificar l'estructura de les assignatures per explotar el potencial que espais com els *innovation labs*, o tècniques com els *focus groups* ofereixen, tant en l'àmbit acadèmic com a l'àmbit professional. Això a llarg termini implica, inevitablement, la necessitat d'actualització de coneixements per una banda, i milers d'oportunitats de creixement per una altra. A curt termini oferim una visió optimista: aquest procés de millora exponencial requereix de pocs recursos per ser iniciat, només fa falta observar els estudiants en el moment de la ideació. Quins recursos aporten ells mateixos que la universitat els podria oferir? Potser és tan senzill com uns *post-its*, o uns rotlles de paper per començar a crear *mindmaps* als passadissos.

Per tant, la finalitat d'aquesta conclusió és animar a repensar aquests recursos. Aprofitar del potencial que ja tenim, tant en equip docent com en infraestructures, i encaminar-les cap a aquest nou model de Universitat de futur. I en certa manera, seguir innovant en la docència.

4. Cas de moment creatiu a l'ESEIAAT: Repte Danone a MDB

A el marc de l'assignatura Investigació, desenvolupament i innovació en el disseny de productes del Màster en Estudis Avançats en Disseny Barcelona (MDB) (UPC (Universitat Politècnica de Catalunya), 2021b), es pretén cada any treballar un procés co-creatiu, un repte que ve definit per una empresa. És un repte en forma de projecte que vol aprofitar molt bé la configuració d'equips d'estudiants multidisciplinaris, ja que sovint a Màster es disposa de diferents perfils dins dels equips: enginyers, dissenyadors, arquitectes, etc.

Enguany, el departament de R+D de Packaging i Sostenibilitat de Danone ha proposat als alumnes un repte de disseny d'un producte de packaging sostenible per a un nou model de negoci basat en *e-commerce* i que alhora dissenyin l'experiència de compra de producte fresc *on-line*. És a dir, que dissenyin també el servei.

Evidentment, la virtualitat ha col·lapsat en certa logística l'ambient co-creatiu, però el fet de tenir equips multidisciplinaris, la implicació de l'equip de Danone i el suport de l'àrea de recerca d'Enginyeria Paperera, ha resultat sense voler un cas de co-creació virtual prou digne i amb resultats que han encaixat molt bé a l'empresa.

4.1. Conclusió dels resultats del repte

Contextualitzar el repte proposat amb l'equip de R+D de Danone, entendre i treballar bé la recerca fins a una proposta de valor, dinamitzar la creativitat cap a diferents idees i propostes entre els equips de treball i poder validar-les almenys amb l'equip de Danone, ha resultat un èxit durant l'assignatura. I alhora, els estudiants han entès com és un moment d'ideació fins a un concepte sòlid de producte i servei.

Alhora, l'empresa Danone entén molt bé aquest procés. I és que des de l'any passat, disposa d'un espai creatiu basat i equipat amb els *toolkits* de Luki Huber a les seves instal·lacions de Barcelona. I entén molt bé la descontextualització de les seves idees a altres contextos, com és el cas

que ens ha tocat participar des del MDB. I és perquè són molt conscients que les idees que puguin sorgir als estudiants, segurament no succeiran mai a Danone per culpa de les rutines de l'empresa, i això ho posen molt en valor.

Actualment estem pendants de presentar les propostes finals per part dels estudiants a l'empresa, i per aquest motiu no es poden mostrar els resultats dels equips de treball. Però l'objectiu d'aquest cas era explicar un èxit de co-creació que ha funcionat molt bé a la ESEIAAT, i que per tan, s'està caminant cap a aquesta forma d'innovar també en la docència.

Referències

- AJUNTAMENT DE BARCELONA (2021). Museu del Disseny de Barcelona.
- BAYÓ, E. (ACCIÓ), & CAMPS, X. (Innoservice C. (2015). *Com esdevenir una empresa innovadora* (Febrer 201; ACCIÓ, Ed.). Retrieved from www.accio.gencat.cat
- CCMA. (2017). Economia en Colors.
- EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (2021). TU/e. Retrieved from <https://www.tue.nl/en/tue-campus/tue-innovation-space/students>
- ESEIAAT-UPC. (2019). *Ofertes treballs fi d'estudis*. Retrieved May 19, 2020, from <https://esciaat.upc.edu/ca/estudis/treballs-fi-destudis/ofertes-treballs-fi-destudis?offer=205-00674>
- FEDERACIÓ DE LES ARTS DECORATIVES. (2021). *MATERFAD*.
- Fundació AAVC Hangar. (2021). Hangar.org.
- HUBER, L. (2021). *Herramientas y espacios para la co-creación*. Retrieved from <https://manualthinking.com/es/>
- IAAC. (2021). *Institut d'arquitectura avançada de Catalunya*. Retrieved from <https://iaac.net/>
- IDEO.ORG. (2011). *The Field Guide - IDEO Design kit*. Retrieved from <http://www.ideo.com/work/human-centered-design-toolkit/>
- IDEO. (2021a). *Designthinking* IDEO.
- IDEO. (2021b). *IDEO Company*. Retrieved from <https://www.ideo.com/eu>
- INGLEDEW, J. (2017). *Cómo Tener Ideas Geniales: Guía de Pensamiento Creativo*. Ed Blume.
- JOBS, S. (2010). *Presentación del iPad*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=BlAtUn4BI.vE&feature=youtu.be>

- MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT). (2021). *MIT-D Lab*. Retrieved from <http://d-lab.mit.edu/>
- MOOTEE, I. (2014). *Design thinking para innovación estratégica*. Ed. Empresa Activa.
- OSTERWALDER, A. (2011). Business Model Generation: A handbook for visionaries, game changers and challengers. *African Journal of Business Management*, 5.
- POLITECNICO DI MILANO. (2017). *Design Labs*. Dipartimento di design.
- TALLER PARA LA MATERIALIZACIÓN Y EL DESARROLLO DE (GRANDES) CONCEPTOS SCCL. (2021). *TMDC*. Retrieved from <https://www.tmdc.es/>
- TU DELFT (2021). *DELFT Design Labs*. Retrieved from <https://delftdesignlabs.org/about-3/>
- UPC. (2021a). *Centre Català del Plàstic*.
- UPC. (2021b). *Màster universitari en Estudis Avançats en Disseny-Barcelona (MBDesign)*. Retrieved from <https://www.upc.edu/ca/masters/estudis-avancats-en-disseny-barcelona-mbdesign>

Aplicación de Modularidad a Separadores de Hidrocarburos y Grasas

Manuel López Membrilla, Nil Peguero Martínez

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

Resumen

El objetivo general de este proyecto se centra en aplicar modularidad los separadores de hidrocarburos de la multinacional ACO, concretamente en su filial española. Estos depósitos presentan unas dimensiones y volúmenes extraordinarios que los convierten en un reto logístico. Tras sufrir estos inconvenientes durante años, la empresa solicita a la UPC un proyecto de I+D que permita desarrollar una solución viable para dichos productos.

Al tratarse de un proyecto de Investigación y Desarrollo, gran parte del mismo está centrada en condensar conocimiento alrededor de materiales, logística, mecánica y otros aspectos de interés. Tras generar una base de conocimiento en la materia lo suficientemente amplio y extraer las conclusiones pertinentes, se plantea un proceso creativo.

Este proceso creativo, genera distintas alternativas, que abarcan desde distintas ópticas el mismo problema. Tras la fase intuitiva de diseño, centramos los esfuerzos en las metodologías objetivas (Matriz de Pugh) para seleccionar la opción más viable. Una vez decidida esta opción más favorable, se abre un capítulo puramente técnico en que se confirman o desmienten las intuiciones realizadas durante el proceso creativo.

Se aborda la idea inicial desde cuatro ramas diferenciadas de la técnica: estudio de materiales, de resistencia, de costes y logístico. Estos cuatro análisis o estudios trabajan conjuntamente para definir por completo la solución final adoptada y su viabilidad a nivel industrial.

Las conclusiones generales del proyecto indican que el objetivo del proyecto: hacer modulares los separadores; es posible.

Abstract

The general objective of this project focuses on applying modularity to the hydrocarbon separators of the multinational ACO, specifically in its Spanish subsidiary. These warehouses have extraordinary dimensions and volumes that make them a logistical challenge. After suffering these inconveniences for years, the company requests an R&D project from the UPC that will allow the development of a viable solution for these products.

As it is a Research and Development project, much of it is focused on condensing knowledge around materials, logistics, mechanics and other aspects of interest. After generating a sufficiently broad knowledge base on the subject and drawing the relevant conclusions, a creative process is proposed.

This creative process generates different alternatives, which cover the same problem from different perspectives. After the intuitive design phase, we focused our efforts on objective methodologies (Pugh's matrix) to select the most viable option. Once this more favorable option has been decided, a purely technical chapter opens in which the intuitions made during the creative process are confirmed or denied.

The initial idea is approached from four differentiated branches of the technique: study of materials, resistance, costs and logistics. These four analyzes or studies work together to fully define the final solution adopted and its industrial feasibility.

The general conclusions of the project indicate that the objective of the project: to make the dividers modular; it is possible.

1. Introducción

Los separadores de hidrocarburos y grasas, utilizan el principio de decantación para separar dichos líquidos de aguas recolectadas. Para ello, es necesario considerar que el volumen a tratar es grande. Estos productos suelen abarcar volúmenes de entre 3.000 y 75.000 L según las necesidades del proyecto.

Como vemos del párrafo anterior, los volúmenes para contener dichas cantidades de agua y otros líquidos, proponen un reto tanto industrial como logístico. Este último resulta ser el gran afectado por las

dimensiones del producto. Los pesos de los separadores oscilan entre los 200kg hasta los 3000kg de los modelos más grandes. Eso resulta en un transporte muy poco eficiente, ya que gran parte del volumen trasladado consiste en aire.

Partiendo de este inconveniente, ACO Iberia, propone a los autores del proyecto, generar una solución modular que permita rebajar la ratio volumen/peso durante el transporte de los separadores.

Para ello los autores, proponen las siguientes etapas de desarrollo, siempre dentro de una fase mayor como es la de generación de conceptos.

- Fase de Investigación: comprender, estudiar y generar base de conocimiento en la materia.
- Fase de Divergencia: proceso creativo enfocado a generar ideas básicas.
- Fase de Convergencia: aplicar herramientas de diseño que permitan tomar decisiones firmes en el proceso creativo.
- Fase de Desarrollo: definir los aspectos relevantes de la alternativa de diseño más viable. Análisis de su viabilidad y técnica.

2. Fase de investigación

Esta fase, centra sus esfuerzos en analizar el problema y generar una base de conocimiento robusta sobre la que desarrollar el resto del proyecto. Para cumplir con este objetivo, los autores recopilan y analizan distintos documentos proporcionados por la empresa, junto con visitas y trabajo autónomo de recopilación.

Los grandes interrogantes de esta fase son: entender el funcionamiento de estos productos, localizar los inconvenientes más relevantes, entender la trazabilidad de los productos y todas las fases industriales que atraviesan.

2.1. Funcionamiento del producto

Estos productos, como se ha comentado en algún momento, utilizan las densidades de agua e hidrocarburos/grasas, para separar los líquidos. Las restricciones geométricas serán importantes durante el desarrollo debido a eso. Hay que tener en cuenta, que las necesidades del usuario final del producto, producirán modificaciones a la forma, accesorios, traslado, funcionamiento y método de instalación del producto.

El sistema modular que se desarrolla, tendrá que tener la capacidad de adaptarse a estos cambios formales, sin implicar largos procesos de desarrollo. Ese es el actual inconveniente de estos productos, personalizarlos para cada cliente. Por eso, esa necesidad debe cubrirse de forma sencilla o acarreado las mínimas acciones posibles por el equipo de ingenieros de ACO Iberia.

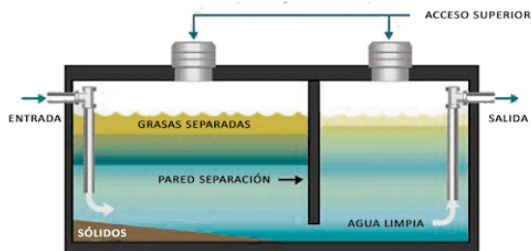


Figura 1. Funcionamiento de un separador de grasas.¹

¹ Esquema de funcionamiento de separadores de grasas. Imagen extraída del blog online separadoresdegrasas.com. En la cámara de decantación inicial el líquido reposa hasta separarse en fases (grasas, agua y lodos), después y por igualdad de presiones, el agua limpia es extraída bajo el nivel superficial. La figura propone un sistema simplificado del funcionamiento de un separador.



Figura 2. Trazabilidad de un separador actual.

2.2. Trazabilidad del producto

Por otro lado, encontramos la trazabilidad del producto. Esta no resulta cómoda desde una óptica logística, ya que el punto de fabricación, ensamblado e instalación se encuentran en distintos puntos de Europa y América Latina. Estos traslados en distintas etapas de fabricación, producen impacto directo en los costes de producción del producto. Reduciendo el margen de beneficio y aumentando el coste para el cliente.

Conocer las etapas que atraviesa el producto tanto a nivel industrial como a nivel de transporte, además de generar una imagen clara al diseñador, también genera restricciones de diseño a tener en cuenta durante próximas fases del desarrollo de la solución.

Un buen ejemplo de lo comentado son los sistemas de transporte rodado y marítimo. Actualmente, la empresa centra sus esfuerzos en transportar sus productos a través de estos canales, delante de alternativas como el transporte aéreo o la fabricación *in situ*.

Esto último da pie al siguiente punto del documento, que restricciones genera el cliente tanto por sus preferencias como por el modelo de negocio que prefiere.

2.3. Necesidades del cliente

Además de conocer en profundidad el proyecto, también resulta relevante, dedicar esfuerzos a conocer las necesidades que el cliente considera tiene. Con respecto al proyecto, las más relevantes giran alrededor de la logística y del proceso de fabricación de los separadores.

Centrándonos primero en el proceso de producción, los separadores de grandes dimensiones, están fabricados en PRFV², debido a las características físicas y químicas que este material proporciona. El sistema de producción utilizado es el winding (Devanado) o infusión en matriz al aire, según las características de la pieza en cuestión. Estos sistemas, no pueden ser alterados ni sustituidos por voluntad de ACO.

Por lo que respecta a la logística, la voluntad del cliente es de estandarizar el sistema de producción a sistemas de transporte Eurocontainer y palet ISO. Esto además de acarrear normativas internacionales de transporte, conlleva restricciones geométricas para que los módulos puedan introducirse de forma reticulada dentro de los contenedores.

Detectados y estudiados las dificultades principales de estos productos, conociendo la opinión de la empresa y habiendo generado una imagen general de la situación actual, llega el momento de utilizar las herramientas creativas. De esa necesidad de canalizar la intuición hacia ideas con propuesta de valor y trazabilidad, encontramos la siguiente fase del proceso: fase de divergencia.

² PRFV (Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio) o GRP (Glass-Reinforced Polymer). Estos dos términos se utilizan indistintamente durante el documento.

3. Fase de divergencia

La fase de divergencia se basa en generar un abanico de posibles diseños e ideas iniciales de forma subjetiva. Estas ideas nacen del conocimiento adquirido durante la anterior fase, pero también de las experiencias personales e intuiciones del diseñador. De entre todas estas posibles alternativas de diseño destacamos dos: uniones externas y soldadura de lonas armadas de PVC.

3.1. Uniones externas

Esta solución básica, se centra en el principio utilizado para ensamblar los motores de explosión y depósitos presurizados. Estos referentes, tienen geometrías esféricas y tubulares en muchas ocasiones, por lo que suponen un ejemplo de unión mecánica semejante.

En estos productos, las uniones temporales roscadas mediante tornillo y tuerca, se colocan en perfiles planos externos a la geometría principal del producto. La facilidad de uso para los montadores es notable, junto con una buena facilidad de transporte, ya que al generar piezas simétricas estas encajan entre ellas.

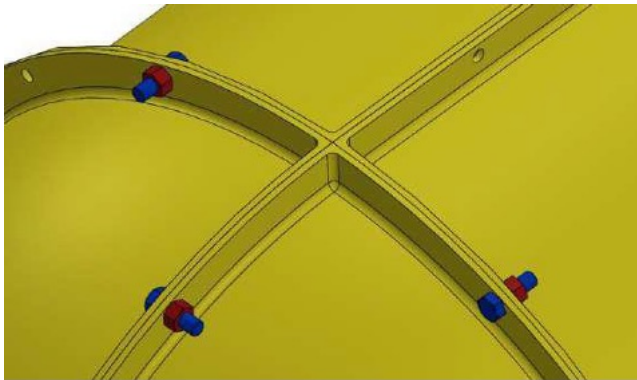


Figura 3. Detalle del sistema de unión externo.

Este sistema implica modificar el sistema de producción: abandonar completamente el devanado, para centrarse de lleno en la infusión. Por tanto, esta se ajusta a las necesidades del cliente, pero deja ligeramente de lado al fabricante actual de piezas cilíndricas.

Por otro lado, y antes de realizar los estudios pertinentes, su funcionamiento tiene buenas garantías de uso ya que es un principio utilizado en sectores muy cercanos al del producto de estudio.

3.2. Soldadura de lonas armadas de PVC

Esta solución se extrae de la industria de reparaciones de piscinas y revestimientos de edificios. La técnica de soldadura por aire caliente utilizada, junto con la posibilidad de patronear estas lonas según las necesidades del producto, generan una versatilidad interesante.

El principio se basa en revestir las zonas de unión entre piezas de PRFV, para actuar a modo de torniquetes; manteniendo las piezas en posición mientras garantizan una correcta estanqueidad.



Figura 4. Procedimiento manual de soldadura de lona PVC. Fuente: Manual de instaladores Renolit S.A.

Esta idea supone la más innovadora de entre las generadas en esta fase. Actualmente, el sector de las canalizaciones y separados de aguas no utiliza nada cercano a esta técnica. En cambio, la industria de las piscinas y la obra civil, ha perfeccionado estas lonas armadas hasta el punto de

sustituir casi de forma definitiva, las tradicionales telas y mayas asfálticas. Por tanto, aunque todavía no objetivada, esta alternativa de diseña ya presenta un destacable recorrido en industrias enfocadas al almacenado y control de aguas.

Llegados a este punto, en que encontramos distintos caminos, con viabilidad a priori, debemos entrar en la siguiente fase del I+D+I de este proyecto. En esta deberemos generar un sistema objetivo, que nos permita escoger una de estas alternativas de diseño pero dejando atrás la intuición.

4. Fase de convergencia

La fase en la que entramos ahora, tiene como objetivo, la de ser capaces de escoger la solución más viable, desde un punto de vista objetivo aunque todavía no técnico. Adentrarnos en estos momentos a analizar la viabilidad técnica de cada una de las alternativas, significa multiplicar el trabajo de los ingenieros en repetidas ocasiones. Por eso, nos decidimos por utilizar la Matriz de Decisión de Stuart Pugh como sistema inicial de jerarquización de ideas.

4.1. Matriz de decisión de Stuart Pugh

Esta herramienta de diseño fue desarrollada por el ingeniero de diseño inglés Stuart Pugh, dentro de su metodología El Diseño Total (1981), permite analizar de forma cruzada las necesidades del encargo junto con las alternativas de diseño.

Sin entrar en demasiados detalles de esta herramienta, las necesidades son listadas en columna y ponderadas según su relevancia. Por el contrario, las alternativas de diseño conforman las columnas de la matriz, junto con el sistema o producto actual que sirve como estándar de mejora o detrimento de funciones.

En el caso concreto de estudio, la idea con un mayor ajuste a las necesidades estudiadas durante la Fase 1 de este documento, fue la

soldadura de lonas armadas de PVC. Esta además de cumplir con la mayoría de restricciones de diseño y necesidades del cliente, aportaba un carácter innovador, lo que desde la óptica empresarial de proyecto resultaba un añadido a destacar.

Aun y con los resultados de la Matriz de decisión, los autores del proyecto consideramos necesario otra rápida fase de investigación, pero centrado en los elementos y técnicas que formaban parte de la alternativa seleccionada.

4.2. Investigación de la solución adoptada

Para llevar a cabo esta investigación convergente, centramos nuestros esfuerzos en conocer de primera mano el comportamiento de las lonas armadas de PVC. Por eso, nos pusimos en contacto con las empresas Renolit S.A. i Fluidra S.A., que nos proporcionaron muestras de sus productos.

Además de estudiar sus características, en busca de los espesores y composiciones más adecuadas, se realizaron distintas entrevistas con responsables de dichas empresas. Esa información de expertos en el sector, nos ofrece una visión realista del comportamiento del material, junto con la experiencia propia de la industria que se dedica a su fabricación e instalación.

Tras recabar toda la información posible durante esta fase del proyecto, nos adentramos en la siguiente etapa del proyecto: la fase de desarrollo. Aunque las tecnologías están en el mercado y se utilizan con frecuencia, ahora el trabajo consiste en modificarlas para que se ajusten a las geometrías y características de los separadores de hidrocarburos y grasas.

5. Fase de desarrollo

El desarrollo del producto, debe enfocarse desde perspectivas muy diversas ya que las características de los separadores, nos hacen

enfrentarnos a distintas restricciones. Los estudios que se realizan en esta fase, tienen como objetivo resolver esas dudas y arrojar luz sobre como modular el producto para que se ajuste a las solicitudes. Los estudios realizados son: estudio de materiales, estudio de resistencias, estudio logístico y estudio medioambiental.

Los estudios se realizan de forma paralela, ya que entre ellos se producen restricciones recíprocamente. Finalmente, recae en los ingenieros, encontrar aquellas posibilidades de diseño en que todas las conclusiones de los estudios se cumplan favorablemente.

5.1. Estudio de materiales

Este estudio se centró, en entender las lonas armadas, GRP, elementos mecánicos y adhesivos, desde un prisma de propiedades básicas del material. El estudio de resistencias generaría unas restricciones que debían cumplirse por todos los elementos que conforman el diseño final.

Para ello y mediante el software CESEdupack se extrajeron los resúmenes de propiedades de los materiales aplicados en las juntas diseñadas.

5.2. Estudio de resistencias

Los separadores, están sometidos a esfuerzos derivados del líquido que contienen, la interacción mecánica entre piezas, las presiones repartidas del suelo, la corrosión, el desgaste, entre muchas otras. Estas se estudian a nivel teórico, debido a la imposibilidad que la pandemia generó de realizar estudios prácticos con el producto real. De todos modos, los análisis exhaustivos mediante estudios teóricos y de elementos finitos, permiten generar una imagen realista del seguido de esfuerzos que tanto separados como junto deberán resistir.

5.3. Estudio de transporte

Este estudio, junto con el de resistencias, resulta el más restrictivo con respecto al diseño final. En este caso se estudian las actuales etapas de transporte del producto, poniendo especial atención en los sistemas de transporte, embalaje y manipulación del producto. A modo de resumen, en la siguiente Figura, podemos ver el sistema actual de transporte del producto.



Figura 5. Sistema de transporte y manipulación.

Establecidas las bases del transporte actual, podemos generar una propuesta de logística que mejore la anterior. Esta se comentará en profundidad durante el punto 5 del documento.

5.4. Estudio medioambiental

Aunque la empresa no pone especial esfuerzo en materia ecológica y de emisiones, consideramos que es algo a tener en cuenta y si es posible mejorarlo. Para ello se simula un transporte de un separador desde su fabricación en República Checa hasta su instalación en México. Este

transporte se corresponde con el radio de acción máximo de ACO Iberia hasta la fecha.

Los datos resultantes manifiestan que los transportes rodados en camión, resultan ser los más contaminantes en proporción. Como hemos comentado, estos datos no forman parte de los requerimientos del proyecto, pero se tienen en cuenta a modo de propuesta de valor adicional.

6. Diseño final

Finalmente, llega el momento de cruzar toda la información recabada durante las anteriores fases, para condensarlas en forma de propuesta de diseño final.

6.1. Principios básicos del diseño

El sistema diseñado, consiste en juntas a modo de kit, que permiten unir secciones cilíndricas y finales de depósito en el lugar de instalación del separador. Para cumplir con las necesidades de transporte del producto, se adopta una solución que permite transportar los módulos del producto por separado y montarlos con herramientas básicas en pocos minutos.

En la siguiente Figura, podemos ver el producto ensamblado y listo para su instalación bajo tierra.

La junta está formada por una lona armada inyectada con espuma de poliuretano o líquido tubeless³, dos aros de acero a modo de punto de apoyo y 80 remaches ciegos. La elección de materiales, geometrías y distribución de estas cumplen satisfactoriamente con los ensayos de elementos finitos realizados durante la fase de desarrollo del proyecto.

³ Líquido tubeless utilizado en neumáticos. Este líquido tiene la capacidad de coagular al entrar en contacto con aire. Al tratarse de un líquido es difícilmente comprimible y su propiedad coagulante garantiza la estanqueidad del sistema ante pinchazos o grietas.

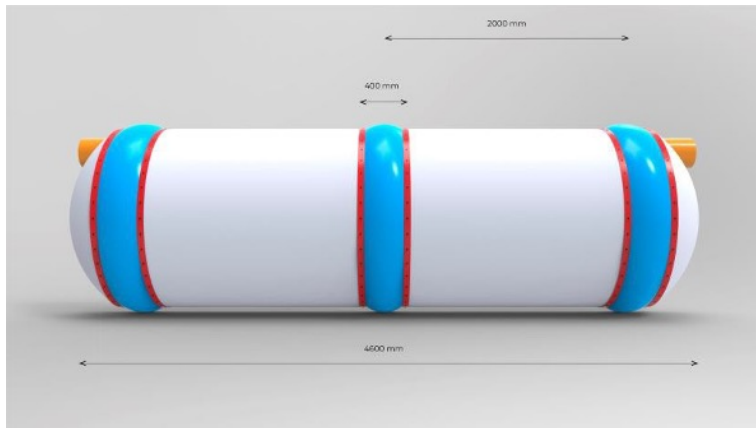


Figura 6. Aspecto exterior del separador modular.

En la siguiente Figura podemos ver en corte transversal, el interior de la junta, y sus componentes en posición.

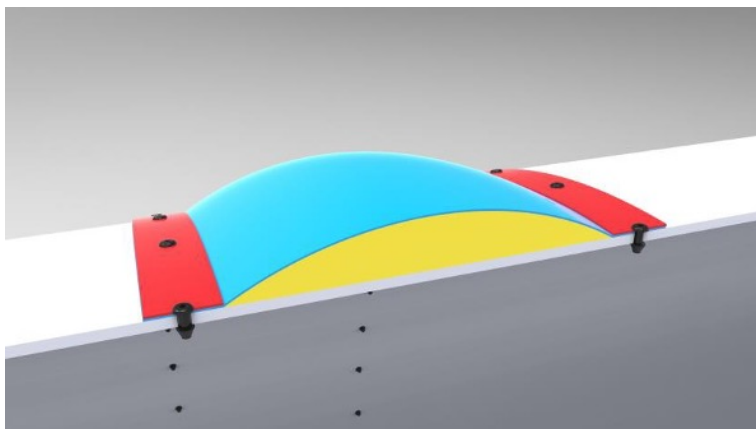


Figura 7. Corte transversal de la junta.

6.2. Propuesta de transporte

Los componentes de pequeñas dimensiones o semirígidos permiten optimizar la proporción peso/volumen del producto. Al transportarlo en Eurocontendor el apilado y optimización del espacio pueden mejorar sustancialmente. La propuesta de transporte es la siguiente:

01. Recibir las piezas primarias desde República Checa en Maçanet de la Selva
02. Mecanizar las piezas de PRFV según las necesidades del producto
03. Crear el kit de piezas y llenar el contenedor con Palet ISO
04. Recepción en lugar de instalación y montaje del depósito
05. Inyectado de las juntas para enclavar la estructura
06. Colocación en lugar de uso mediante grúa

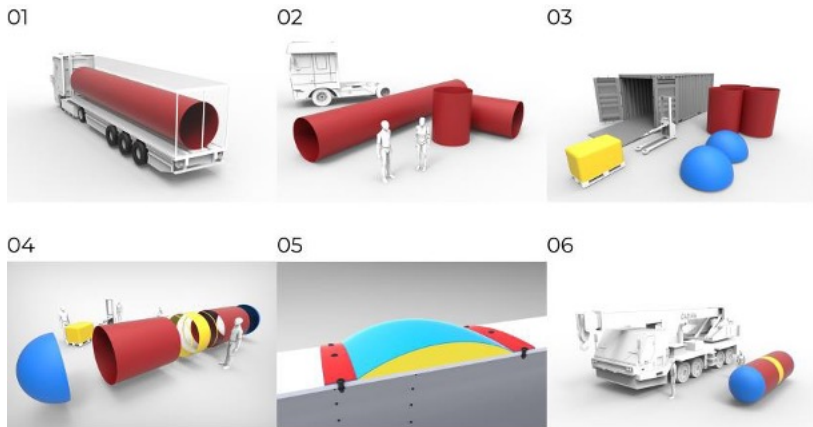


Figura 8. Propuesta de transporte.

7. Conclusiones

La gran conclusión de este proyecto es la siguiente: es posible y afirmamos con total convicción, aplicar modularidad los depósitos de ACO Iberia para abaratar sus costes de transporte. Existen los materiales, técnicas y recursos geométricos necesarios para llevar estos productos al siguiente nivel de diseño. Hasta este momento aunque funcionales estos depósitos no resultaban rentables para ningún agente de la cadena de valor.

Nuestra solución aunque conceptual por ahora, parece tener una más que prometedora perspectiva de futuro. Los materiales, el medio ambiente, la resistencia y el diseño general, han arrojado resultados satisfactorios, lo que parece indicar que todo podría llevarse a cabo en un contexto real.

Como es evidente, muchos aspectos más específicos de este proyecto, como cimentación, accesorios o embalaje no se han estudiado en este proyecto. Pero también es motivante el hecho de encontrar que tras este capítulo se abren otros tan o más interesantes.

Por último, también concluimos que sin un claro apoyo al I+D+I y la percepción de que esto no es un gasto sino una inversión, estos proyectos no quedan más que en interesantes propuestas sin una trazabilidad que puede llevarlos al mercado. Consideramos relevante denunciar la actual inversión en I+D+I.

Referencias

- ACO IBERIA (2019). *Catálogo Iberia*, 19, 337-426.
- ACO DEUTSCHLAND (2020). *Methodology for the development of new products*. 1- 7.
- RENOLIT (2018). *Manual de instalación lonas armadas PVC*.

Estudio del Comportamiento Biomecánico de Arteria Carótida Humana Mediante Simulación Multifísica

Sergio Gómez González

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

José López López

EEBE. Departament de Física (UPC)

Enrique Fernández Aguado

3ETSEIB. Ciència i Enginyeria dels Materials (UPC)

Resumen

El conocimiento del comportamiento del flujo sanguíneo dentro del propio sistema cardiovascular del paciente es posible entenderlo a partir de una simulación numérica multifísica que incluya la reconstrucción 3D real de la enfermedad cardiovascular (ECV) a estudiar, la definición de las propiedades de los tejidos involucrados y la definición de las condiciones de contorno que describan el flujo pulsante de la sangre en función del tiempo.

El presente artículo estudia la interacción multifísica entre el flujo sanguíneo y las paredes de una ramificación de la arteria carótida reconstruida a partir de imágenes de resonancia magnética (MRI, CT). Las simulaciones realizadas de flujo laminar y de mecánica de sólidos permitió conocer la velocidad, la presión en la superficie interna de la arteria y la cizalla producida por el flujo pulsatorio durante un ciclo completo. Además, se evaluó como estas condiciones modifican el estado tensional de la arteria y del músculo cardiaco circundante durante el ciclo cardiaco y cómo se produce su deformación. Las correlaciones encontradas ($0.999 \geq r \geq 0.894$) entre los desplazamientos medios y máximos de la arteria y del tejido muscular respecto de la presión, velocidad y tasa de cizalla, permiten afirmar que es posible predecir su comportamiento y aplicarlo al estudio de ECV.

Abstract

It is possible to understand how the blood flows through a patient's cardiovascular system with a multi-physical numerical simulation which includes a real 3D reconstruction of the cardiovascular disease (CVD) under study, the definition of the properties of the tissues involved and the definition of the environmental conditions which describe the pulsatile flow of blood depending on time.

Here we report the study of the multi-physical interaction between the blood and the walls of a branch of the carotid artery reconstructed from magnetic resonance imaging data (MRI, CT). The simulations of laminar flow and solid mechanics allowed us to know the flow velocity, the pressure on the internal surface of the artery and the shear rate caused by the pulsatile flow through a whole cycle. Furthermore, we evaluated how these conditions alter the tension state of the artery and the surrounding heart muscle during the cardiac cycle and how its deformation occurs. The correlations found ($0.999 \geq r \geq 0.894$) between the average and maximum deformation of the artery and the muscle tissue with reference to the pressure, speed and shear rate allow us to state that it is possible to predict its behaviour and apply it to the study of CVD.

1. Introducción

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son la tercera causa de mortalidad en el mundo (Kevin et al., 2019). Afectan al sistema vascular o red de vasos sanguíneos del cuerpo e incluye arterias, venas y capilares. Algunas de las patologías como el aneurisma o la aterosclerosis son graves y afectan a un elevado porcentaje de la sociedad.

La aterosclerosis, representada en la Figura 1a, se produce por la acumulación de placa (materiales grasos como el colesterol) dentro de las arterias provocando su engrosamiento, rigidez y la consecuente reducción de la sección de flujo. Cuando parte de la placa acumulada se desprende y son desplazadas hacia arterias más pequeñas en el cerebro puede producir una rotura y generar un derrame cerebral. Es la cuarta causa de muerte y la primera causa de discapacidad grave (Szopos et al., 2014). El

aneurisma, Figura 1b, 1c y 1d es un engrosamiento o abombamiento anormal de una arteria debido a la debilidad en la pared del vaso sanguíneo. Algunos aneurismas son congénitos y otros se dan donde las arterias soportan elevada presión y se tienen niveles altos de colesterol. La detección temprana de este tipo de ECV en personas asintomáticas y el conocimiento del comportamiento de los vasos sanguíneos durante el ciclo cardíaco es crucial para mejorar su detección y tratamiento. El conocimiento de la geometría tridimensional (3D) de los vasos sanguíneos, su diámetro y el grado de obstrucción o abombamiento junto con la información del flujo, velocidad, presión y cizalla son de gran ayuda para su estudio y tratamiento clínico.

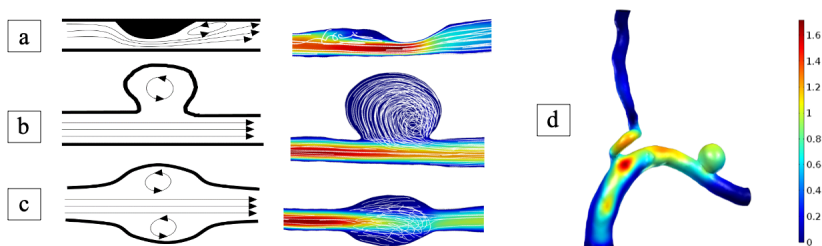


Figura 1. Esquema y simulación numérica por CFD de: a) Aterosclerosis. b) Aneurisma secular. c) Aneurisma fusiforme. d) Simulación numérica de la deformación experimentado por un vaso sanguíneo con un aneurisma como consecuencia del flujo. Los modelos de la Figura han sido simulados con Comsol Multiphysics por el grupo de investigación INSUP (UPC).

La reconstrucción de imágenes médicas (tomografía computarizada, CT; microtomografía computarizada, μ CT; resonancia magnética, MRI; ecocardiografía tridimensional, 3DTEE) junto con la aplicación de la dinámica de fluidos computacional (CFD del inglés Computational Fluid Dynamics) ha facilitado el estudio y la comprensión de la hemodinámica del flujo sanguíneo y del comportamiento biomecánico de los sistemas cardiovasculares. Investigaciones recientes han utilizado la simulación

multifísica en la resolució numérica de modelos con enfermedades cardiovasculares (ECV) complejas (Morris et al., 2016; Selmi et al., 2019). Por ejemplo, la simulación multifísica de dinámica de fluidos y mecánica de sólidos ha permitido estudiar la deformación de los vasos sanguíneos durante el ciclo cardiaco como consecuencia de la presión del flujo.

La simulación multifísica es una opción muy razonable en el estudio de ECV y cada vez más usada en cardiología. La adquisición de imágenes se realiza de forma no invasiva y la reconstrucción 3D de los sistemas cardiovasculares a estudiar se hacen con una resolución milimétrica. Además, una vez realizadas las simulaciones numéricas del flujo sanguíneo, los modelos 3D reconstruidos facilitan un mejor entendimiento de la patología, una mejor planificación de la cirugía, la prevención de posibles complicaciones y una reducción del tiempo de operación u abordaje (Morris et al., 2016).

En la Figura 2 se presentan las etapas requeridas en la realización de una simulación numérica de un sistema cardiovascular o ECV: (1) Captación de las imágenes médicas del paciente, (2) segmentación y reconstrucción tridimensional de los vasos, (3) discretización volumétrica o mallado para dividir la geometría importada en elementos o celdas volumétricas discretas más o menos pequeñas, (4) definición de las condiciones de contorno (propiedades del fluido, características mecánicas de las paredes de los vasos, presión arterial, etc.) y simulación numérica.

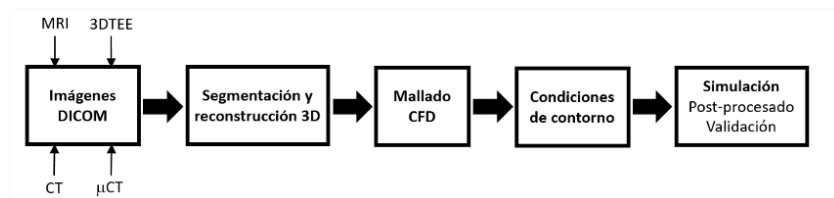


Figura 2. Etapas en la realización de una simulación numérica en una ECV.

El conocimiento del comportamiento del flujo sanguíneo dentro del propio sistema cardiovascular del paciente es posible entenderlo a partir de una simulación numérica multifísica que incluya la reconstrucción 3D real de la ECV de estudio, la definición de las propiedades de los tejidos involucrados y la definición de las condiciones de contorno que describan el flujo pulsante de la sangre en función del tiempo. En ese sentido, el presente artículo estudia la interacción entre el flujo sanguíneo y las paredes de una ramificación de la arteria carótida reconstruida a partir de imágenes de resonancia magnética (MRI, CT). La simulación del flujo laminar y la mecánica de sólidos permitió conocer la velocidad, la presión en la superficie interna de la arteria y la cizalla producida por el flujo pulsatorio durante un ciclo completo y su afectación a la deformación y al estado tensional en la interfase arteria-músculo cardíaco.

2. Materiales y métodos

2.1. Preparación y reconstrucción de los modelos digitales

Las imágenes médicas obtenidas por MRI (CT) de una porción de arteria carótida, en formato DICOM, fueron importadas al aplicativo ScanIP (Simpleware) para su reconstrucción. Se creó una primera máscara con la segmentación del lumen interno (volumen ocupado por la sangre) con la función Threshold seleccionando un intervalo de grises (Greyscales) de 300-1400. Previo a su definición se usó la función Profile line que, a partir de la creación de una línea sobre una vista en corte 2D del modelo a segmentar, analizó el escalado de grises de la imagen identificando de forma más fácil el umbral que rellena de mejor forma la arteria a reconstruir. La máscara creada define el dominio computacional del fluido (CFD). Para el estudio de la interacción fluido-tejidos por simulación multifísica se crearon dos máscaras más para definir la segmentación de una porción de aorta carótida y del músculo circundante. La máscara que define el tejido de la aorta se creó a partir de

la adición de un espesor de 1 milímetro con la función Dilate a la primera máscara creada. La operación booleana de sustracción entre las dos máscaras generó el modelo hueco de la arteria carótida con la definición de su espesor. Finalmente, la máscara que define el tejido muscular que rodea a la aorta se generó a partir de una copia de la máscara de la aorta y su inversión completa en todas las imágenes MRI (*Invert on all slices*). En la Figura 3a se esquematiza el procedimiento general seguido para crear los modelos mallados para simulación numérica. En la Figura 3b, 3c y 3d se representa la reconstrucción del modelo en tres dimensiones (3D) desde la creación de la primera máscara (Figura 3b y 3c) hasta la selección del volumen de interés de estudio (VOI). En la Figura 3c se presenta la bifurcación de la arteria carótida con unas dimensiones globales de 53,1 x 40,1 x 46,5 milímetros: las paredes externas del vaso sanguíneo se representan en azul, el volumen ocupado por la sangre en rojo y el tejido muscular en marrón.

2.2. Ecuaciones empleadas

En el estudio se emplea COMSOL Multiphysics® v. 5.4 (COMSOL), para estudiar la interacción flujo-estructura entre el fluido definido por la sangre (máscara 1), el vaso sanguíneo ramificado (máscara 2) y el músculo cardíaco (máscara 3) en contacto con la aorta. Para ello se incluyen dos físicas: flujo laminar (CFD) y mecánica de sólidos (FEA). Las ecuaciones de Navier-Stokes se han resuelto en el dominio sanguíneo definido por la máscara 1 para calcular el campo de velocidad, presión y cizalla en un ciclo cardíaco. El análisis mecánico determinó el estado tensional y las deformaciones sufridas por la aorta carótida y el músculo cardíaco (máscara 2 y 3) durante el ciclo. Se seleccionó la opción multifísica de COMSOL Multiphysics® con la activación de la opción Interacción fluido-estructura. La velocidad de flujo y la presión calculada para los distintos tiempos de la simulación del análisis del flujo laminar es transferida a los tejidos.

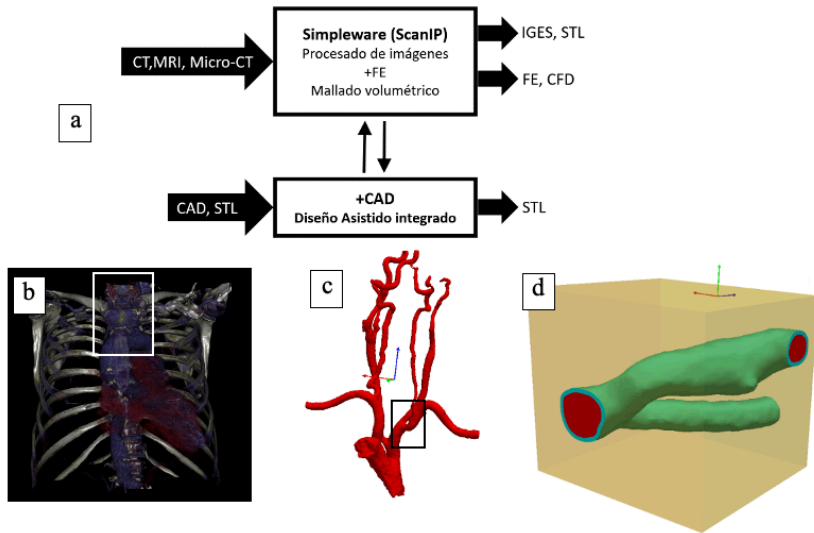


Figura 3. a) Procedimiento de conversión de las imágenes de médicas (MRI, CT o micro-CT) a formato CAD a partir de la combinación de los módulos: ScanIP (procesado de imagen y segmentación), ScaFE (mallador FEA y CFD). b) Torso renderizado con la opción Vascular II de InVesalius. c) Reconstrucción de la arteria carótida con ScanIP. d) Porción de arteria carótida seleccionada para el estudio con la definición de las máscaras de sangre, vaso sanguíneo y tejido muscular.

Ecuaciones de Navier-Stokes: Se utilizó las ecuaciones de Navier-Stokes (time-dependent) y la ecuación de conservación de masa para determinar el flujo sanguíneo en el dominio definido por la máscara 1. El fluido se ha definido como flujo incompresible, sin turbulencias, homogéneo y con un comportamiento Newtoniano. Se descarta la definición no Newtoniana de la sangre por considerar que la viscosidad se mantiene constante en las condiciones de estudio (diámetros con

diámetros superiores a 5 mm) (Selmi et al., 2019). La ecuación de Navier-Stokes:

$$\nabla \cdot u = 0$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \nabla u \right) = \nabla \sigma$$

Donde ρ es la densidad de la sangre, μ la viscosidad dinámica y σ es el tensor tensión. En la simulación se ha considerado que la densidad y la viscosidad dinámica son constantes. Los valores establecidos fueron: $\rho_{\text{sangre}}=1060 \text{ Kg/m}^2$ y $\mu_{\text{sangre}}=0,005 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (Selmi et al., 2019).

Ecuación mecánica de sólidos: Asumiendo que las tensiones y deformaciones son pequeñas se ha seleccionado un modelo simplificado elástico lineal e isotrópico a partir de la definición de la densidad y los parámetros de Lamé según: Arteria ($\rho = 960 \text{ kg/m}^3$, parámetro Lamé $\mu = 6.20 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ y $\lambda = (20 \mu\text{m})$) y músculo cardíaco ($\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$, parámetro Lamé $\mu = 7.20 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ y $\lambda = (20 \mu\text{m})$) (Selmi et al., 2019; Urquiza et al., 2006; Wang et al., 2018).

2.3. Condiciones de contorno

En la Figura 4 se indican las condiciones de contorno establecidas para las entradas y las salidas del flujo sanguíneo en el modelo de estudio. Las paredes de los vasos se consideraron completamente rígidas y se aplicó la condición de no deslizamiento.

Para definir la velocidad de entrada según los valores mínimos y máximos que se dan durante el ciclo cardíaco se definió una función trigonométrica dependiente del tiempo con una duración total de 0.8s (Figura 5). Durante el ciclo la velocidad de entrada varía entre un valor máximo y uno mínimo. La primera parte de la función entre 0 y 0,35 segundos define un primer ciclo con una velocidad máxima de entrada

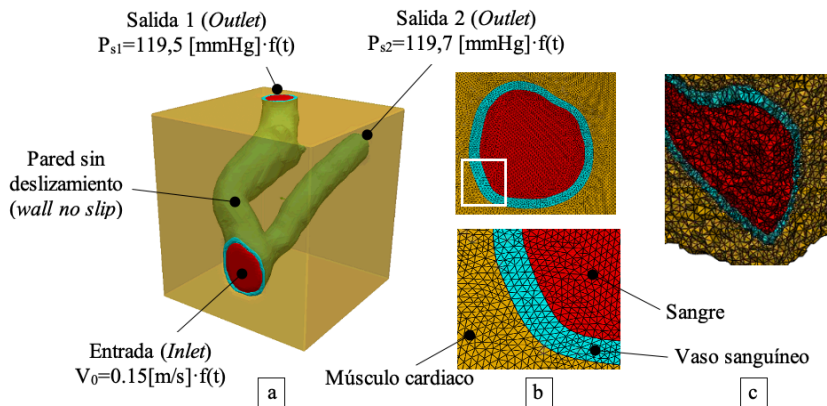


Figura 4. a) Condiciones de contorno para CFD. b) Mallado de las máscaras que definen la sangre, el vaso sanguíneo y el músculo cardiaco. c) Detalle en sección del mallado de elementos tetraédricos en la entrada (inlet).

de 0,12 m/s. La segunda función define el segundo ciclo de 0.35 a 0.8s, con una velocidad máxima inferior a 0,1 m/s. La velocidad de entrada se definió como $0.15 \text{ [m/s]} \cdot f(t)$. Las dos salidas se definen según: $P_{s1} = 119,5 \text{ [mmHg]} \cdot f(t)$ y $P_{s2} = 119,7 \text{ [mmHg]} \cdot f(t)$. Estas condiciones son similares a las adoptadas por otros autores como Selmi et al. (2019).

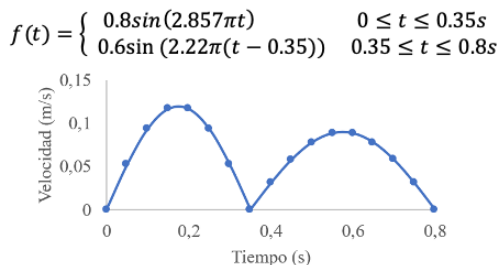


Figura 5. Velocidad de entrada de la sangre en la aorta carótida en un ciclo cardíaco completo.

2.4. Mallado

Se emplea el método de los elementos finitos para resolver las ecuaciones descritas. La geometría de estudio mostrada en la Figura 4.a muestra el dominio computacional necesario a mallar (sangre, arteria y músculo cardiaco). El mallado debe ser compatible para las tres mascarar (4b y 4c). Para ello se utilizó el ScanFE (Simpleware) y el algoritmo de creación de malla +FE Free con elementos tetraédricos con una longitud de eje inferior a 0,390625 mm y un error máximo de 0,078125 mm. El modelo final mallado tiene 16513 elementos tetraédricos en el lumen que define la sangre, 21973 en el tejido de la aorta y 59463 en el tejido que define el músculo. Se exportó con la extensión mph para COMSOL Multiphysics® (v4.1 and later).

3. Resultados y discusión

Las ecuaciones de Navier-Stokes se resuelven en el dominio sanguíneo definido por la máscara ocupada por la sangre mientras que en los tejidos definidos por la arteria carótida y el músculo cardiaco se aplica un análisis mecánico. Los resultados obtenidos muestran la velocidad, presión y cizalla de la sangre en función del tiempo y, por otro lado, la tensión y deformación a la que está sometida la porción de arteria y el músculo como consecuencia de su interacción con el flujo sanguíneo.

La Figura 6 muestra la distribución de velocidad y la presión durante cuatro intervalos de la simulación (0.2 s, 0.4 s, 0.6 s y 0.8 s) que representan el ciclo completo. La Figura 7a representa la variación de la presión del flujo sanguíneo como consecuencia de las condiciones de entrada del fluido definido por la función $(0,15 \text{ m/s}) \cdot f(t)$ descrita en la Figura 5. Para cada uno de los intervalos estudiados la diferencia entre la presión máxima y la presión media calculada es inferior al 1,31%. Así, se observa una diferencia máxima de un 12,39 KPa y mínima de 0,16 KPa que presenta un 5 y un 0,26%, respectivamente. La diferencia máxima entre la velocidad media y la máxima calculada en todo el volumen de ensayo

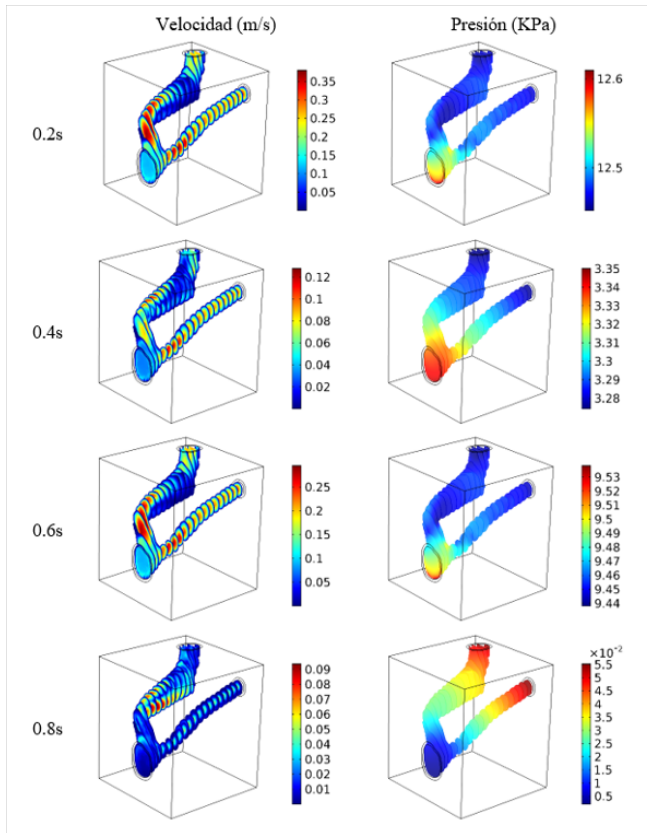


Figura 6. Distribución de la velocidad y presión dentro del vaso sanguíneo en diferentes tiempos.

es de 0,27 m/s siendo la diferencia media durante todo el ciclo de 0,16 m/s. En el caso de la cizalla, la diferencia máxima entre la cizalla media y la máxima calculada es de 730,32 1/s y la diferencia media en todo el ciclo es de 465,87 1/s. Las máximas diferencias se dan en el intervalo de 0,2 s y 0,6 s que coinciden con los dos picos de la función. En la Figura 6 se representa las secciones de velocidad y presión de la arteria carótida en

su bifurcación. Los valores máximos se dan para los intervalos descritos (0.2 s y 0.6 s) donde se tiene la mayor velocidad de flujo (0.12 y 0.25 m/s) y la mayor presión (3.35 y 9.53 KPa). Las curvas de presión, velocidad y cizalla responden a la curva que define la velocidad de entrada (Figura 5).

La Figura 7d presenta la evolución temporal del desplazamiento experimentado por el vaso sanguíneo y el tejido muscular durante el ciclo cardíaco. Se observan dos picos máximos de desplazamiento que se corresponden con los intervalos de 0.2 s y 0.6 s donde la presión, la velocidad y la cizalla son máximas. En la Figura 7d se presentan los desplazamientos promedio y desplazamiento máximo del vaso sanguíneo y del músculo cardíaco. Se observa como el vaso sanguíneo experimenta un mayor desplazamiento que el músculo cardíaco. El desplazamiento máximo del vaso sanguíneo es de 2,91 μm en el primer pico (0.2 s) y de 2,20 μm en el segundo ciclo (0.6 s). En el caso del músculo cardíaco los desplazamientos máximos coinciden también con dos picos y son de 2,62 μm y 1,98 μm , respectivamente. Los desplazamientos promedio en el vaso sanguíneo y el músculo cardíaco en todos los intervalos oscilan entre 1.5 μm y 0.5 μm . En la Figura 8 se representa la distribución de la tensión von Mises (KN/m^2), los desplazamientos sobre la bifurcación de la arteria carótida y los desplazamientos sobre planos de corte XY para los intervalos de tiempo 0.2 s, 0.4 s, 0.6 s y 0.8 s. Se observa que los máximos desplazamientos se dan en los intervalos descritos (0.2 s y 0.6 s) y son mayores en la arteria. A medida que aumenta la distancia desde la arteria la tensión y el desplazamiento obtenido es menor observando su menor influencia en el tejido muscular.

Las correlaciones encontradas ($0.999 \geq r \geq 0.894$) entre los desplazamientos medios y máximos de la arteria y del tejido muscular respecto de la presión, velocidad y tasa de cizalla, permiten afirmar que es posible predecir su comportamiento y aplicarlo al estudio de ECV (Tabla 1). Los resultados muestran que es posible predecir el grado de deformación de la arteria carótida a partir de la velocidad de entrada o la presión sanguínea.

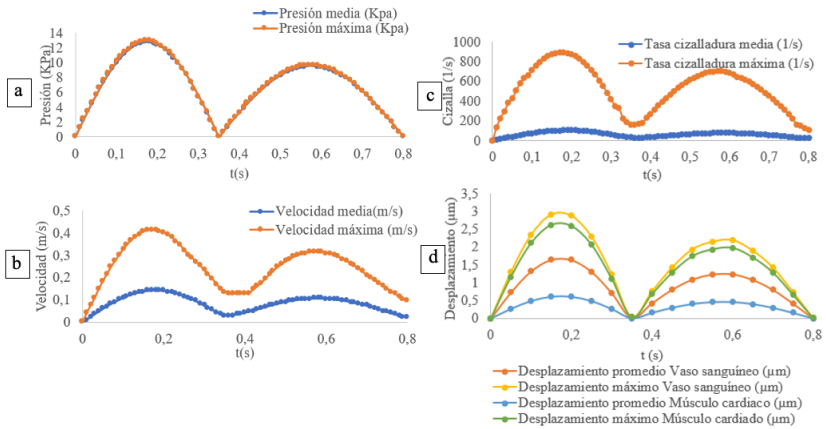


Figura 7. Evolución temporal de los valores medios y máximos de: a) Presión, b) Velocidad y c) Cizalla de la sangre en el vaso sanguíneo. d) Desplazamiento del vaso sanguíneo y del músculo cardiaco.

	P_{media} (KPa)	$P_{máx}$ (KPa)	V_{media} (m/s)	$V_{máx}$ (m/s)	γ_{media} (1/s)	$\gamma_{máx}$ (1/s)
Desplazamiento medio arteria	0,999	0,999	0,968	0,934	0,897	0,987
Desplazamiento máximo arteria	0,999	0,999	0,968	0,933	0,894	0,987
Desplazamiento medio musculo	0,999	0,999	0,970	0,934	0,898	0,987
Desplazamiento máximo musculo	0,999	0,999	0,968	0,933	0,894	0,987

Tabla 1. Correlación entre desplazamiento y velocidad, presión y cizalla.

Los resultados obtenidos para la porción de arteria aorta estudiada en el presente artículo son de la misma magnitud que los obtenidos en otros estudios similares (Selmi et al., 2019; Urquiza et al., 2006; Wang et al., 2018). Por ejemplo, Marwa et al. (Selmi et al., 2019), con un estudio parecido, pero con un modelo teórico de aorta y sus ramificaciones (una de ellas la carótida), han obtenido desplazamientos máximos en los dos ciclos de entre $8 \mu\text{m}$ y $6 \mu\text{m}$ para velocidades máximas de entre 0.35 m/s

y 0.25 m/s y presiones máximas de entre 12 KPa y 10 KPa, respectivamente. Valores ligeramente superiores a los obtenidos en el presente estudio por tratarse de un modelo de mayores dimensiones.

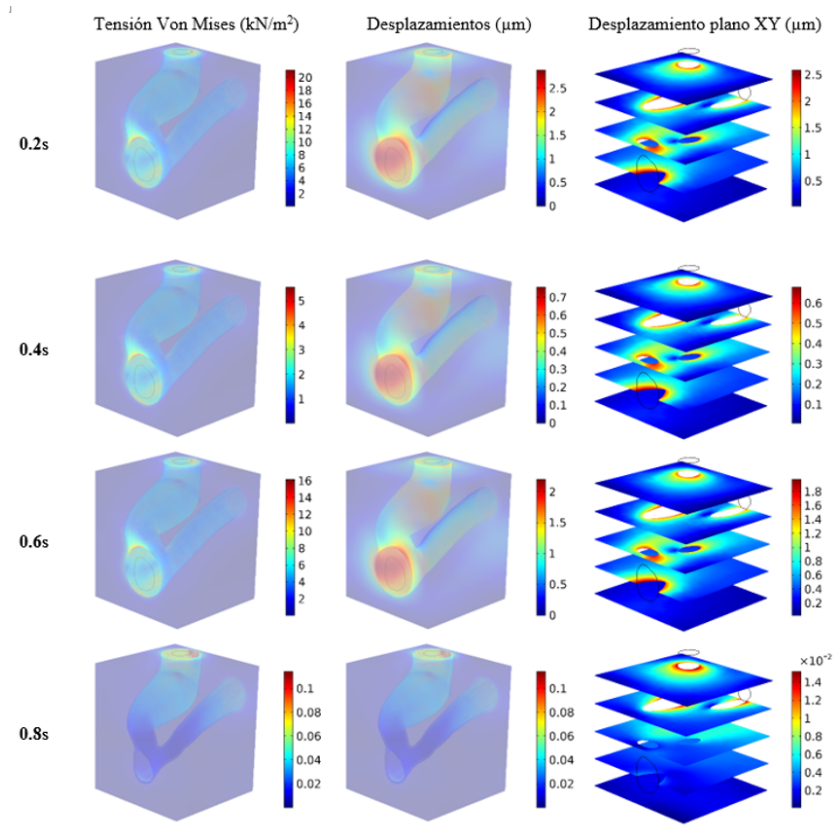


Figura 8. Distribución de tensiones Von Mises y desplazamiento y desplazamiento en la interfase base sanguíneo-tejido muscular.

4. Conclusiones

La reconstrucción de imágenes médicas junto con la simulación computacional multifísica basada en el método de los elementos finitos ha permitido conocer la influencia del flujo sanguíneo en la deformación del tejido de la arteria carótida y del tejido muscular circundante durante un ciclo cardiaco. Los resultados obtenidos en distintos tiempos de la simulación han mostrado la capacidad de predicción de la deformación de los vasos sanguíneos y del músculo cardiaco a partir de la definición de la función de velocidad de flujo sanguíneo de entrada, la distribución de la presión y la cizalla.

Estudios de mínima invasión completos de enfermedades cardiovasculares como el aneurisma o la aterosclerosis pueden ser estudiados a partir de la reconstrucción de las imágenes médicas de un paciente y determinar la velocidad de flujo, presión, cizalla y los desplazamientos producidos en los vasos sanguíneos y en el músculo cardiaco circundante durante el ciclo cardiaco.

Futuros trabajos podrían comparar los resultados obtenidos en las simulaciones numéricas multifísica con estudios con aorta carótida real procedente de cadáver o de evaluaciones experimentales in vitro con modelos sintéticos imprimidos en tres dimensiones con materiales biomiméticos.

Referencias

- COMSOL Multiphysics® v. 5.4. www.comsol.com COMSOL AB, Stockholm, Sweden.
- MC NAMARA, K.; ALZUBAIDI, H.; & JACKSON, J. K. (2019). Cardiovascular disease as a leading cause of death: how are pharmacists getting involved?. *Integr Pharm Res Pract.*, 8, 1-11. Published online 2019 Feb 4. <https://doi.org/10.2147/IPRPS133088>
- MORRIS, P. D.; NARRACOTT, A.; VON TENGG-KOBLIGK, H. et al. (2016). Computational fluid dynamics modelling in cardiovascular medicine. *Heart*, 102, 18-28. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2015-308044>

- SELMİ, M.; BELMABROUK, H.; & BAJAHZAR, A. (2019). Numerical Study of the Blood Flow in a Deformable Human Aorta. *Appl. Sci.*, 9, 1216. <https://doi.org/10.3390/app9061216>
- SZOPOS, M.; POUSSINEAU, N.; MADAY, Y.; CANNIFFE, C.; CELERMAJER, D. S.; BONNET, D. et al. (2014). Computational modeling of blood flow in the aorta--insights into eccentric dilatation of the ascending aorta after surgery for coarctation. *J Thorac Cardiovasc Surg.*, 148(4), 1572-1582. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2013.11.055>
- URQUIZA, S.A.; BLANCO, P.J.; VENERE, M.J.; & FEJJOO, R.A. (2006). Multidimensional modelling for the carotid artery blood flow. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 195, 4002-4017. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2005.07.014>
- WANG, Y.; QUAINI, A.; & ČANIĆ, S. (2018). A higher-order discontinuous Galerkin/arbitrary Lagrangian Eulerian partitioned approach to solving fluid-Structure interaction problems with incompressible, viscous fluids and elastic structures. *J. Sci. Comput.*, 76, 481-520. <https://doi.org/10.1007/s10915-017-0629-y>

Procesado y Fabricación de Modelos Cardiovasculares por Impresión 3D

Sergio Gómez González

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

Joan Gensana Prim

EDT. Fabricació Mecànica

Jonathan García Abián

EEBE. Servei Tècnic (UPC)

José López López

EEBE. Física (UPC)

Enrique Fernández Aguado

ETSEIB. Ciència i Enginyeria dels Materials (UPC)

Resumen

La impresión tridimensional es un conjunto de técnicas de fabricación aditiva de uso creciente en la creación de modelos anatómicos físicos que facilitan el diagnóstico, el estudio, la planificación y la práctica de procedimientos quirúrgicos apropiados. Para fabricar estos modelos se parte de imágenes médicas obtenidas del paciente que son convenientemente tratadas por programas informáticos que facilitan toda una serie de operaciones necesarias para la obtención de las instrucciones que permiten fabricar los modelos físicos mediante tecnología de impresión 3D. En este artículo se describen las etapas, los programas y las tecnologías de impresión 3D utilizadas para fabricar modelos físicos cardiovasculares con la precisión requerida, en tiempo reducido y a bajo coste. La integración de estos conocimientos en clínica es cada vez más necesaria para una gestión pre- y post-operatoria adecuada de casos complejos.

Abstract

Three-dimensional printing is a set of additive manufacturing techniques increasingly used in the creation of physical anatomical models that facilitate the diagnosis, study, planning and practice of appropriate surgical procedures. To manufacture these models, medical images obtained from the patient are used that are conveniently processed by computer programs that facilitate a whole series of operations necessary to obtain the instructions that allow the manufacture of these models using 3D printing technology. This article describes the stages, programs and 3D printing technologies used to manufacture cardiovascular physical models with the required precision, in a reduced time and at low cost. The integration of this knowledge in the clinic is increasingly necessary for an adequate pre- and post-operative management of complex cases.

1. Introducción

Las imágenes médicas (tomografía computarizada, CT; microtomografía computarizada, μ CT; resonancia magnética, MRI; ecocardiografía tridimensional, 3DTEE) pueden ser reconstruidas de forma más o menos automática para obtener un modelo 3D virtual que el cirujano puede orientar, seccionar, ampliar, pero no tocar con sus propias manos (Rengier et al., 2010). Sin embargo, la impresión 3D permite convertir cualquier modelo virtual en una réplica física de sí mismo. Hoy en día, los modelos se pueden imprimir con distintos materiales y reproducen con precisión milimétrica cualquier tejido u órgano. Disponer de modelos físicos durante la gestión preoperatoria permite una mejor planificación de la cirugía, la prevención de posibles complicaciones, una reducción del tiempo de operación y una mejor comunicación entre equipos multidisciplinares (Valverde, 2017; Durfee & Iaizzo, 2019; Giannopoulos et al., 2016). En el campo de la cardiología, las limitaciones de la impresión 3D están relacionadas con la precisión, el tiempo de preparación y el coste económico de los modelos (Martelli et al., 2016; Vukicevic et al., 2017; Oliveira et al., 2020). La precisión

depende de la calidad y la resolución de las imágenes médicas, del proceso de segmentación y de la tecnología de impresión 3D utilizada (*Fused Deposition Modelling*, FDM; *Masked Stereolithography*, MSLA) (Otton et al., 2017; Gardin et al., 2020). El tiempo de preparación incluye el tiempo de adquisición de las imágenes médicas, su segmentación, la obtención de la malla, su tratamiento, la impresión 3D y el post procesado de los modelos. El coste viene determinado por el tiempo, los materiales y los recursos requeridos (programas, impresoras, etc.). Por tanto, para entender de forma global todas estas implicaciones es necesario conocer todas las etapas que van desde el proceso de obtención de un modelo digital virtual hasta su conversión en un modelo físico real. En este sentido, el objetivo de este artículo es describir dichas etapas mediante el análisis práctico de dos modelos (aorta y vaso sanguíneo) impresos con tecnología FDM y MSLA.

2. Materiales y métodos

2.1. Preparación digital de los modelos

Las imágenes médicas, en formato DICOM, de los modelos cardiovasculares de estudio (aorta y vaso sanguíneo) se importaron a los aplicativos *Invesalius* (acceso libre) y/o *ScanIP* (bajo licencia) para su conversión en dominios computacionales exportables a STL. La segmentación de entidades distintas de la región de interés (ROI), previa definición de máscaras se realizó con la función *Threshold* de los aplicativos en una escala de grises de 300-1400. La exportación de malla STL desde *InVesalius* necesitó de herramientas adicionales de edición (*Lasso*, *Brush*), evaluación (*Inspector*) y reparación (*AutoRepair All*) del aplicativo *Autodesk Meshmixer*. La exportación desde *ScanIP* sólo necesitó de la función *Flood fill* para garantizar la ausencia de huecos internos. En el apartado 3. Resultados y Discusión se describe el efecto de estas operaciones.

2.2. Impresión FDM y MSLA de los modelos

Para la obtención del código de impresión (*G-code*) de los distintos modelos con tecnología FDM se utilizaron los programas *BCN 3D Cura 2.1.2* y *Simplify3D 4.0.0* que permiten localizar, una vez posicionado y orientado el modelo, las zonas fuera del rango de impresión o en voladizo (*overhang*). Para los modelos MSLA se utilizó *Cbitubox*.

La impresión FDM de los modelos (impresora *BCN3D Sigma R19* y *CubePro* modificada a *open source*) se realizó por apilamiento sucesivo de capas de PLA (ácido poliláctico). En este tipo de impresión el posicionado y la orientación del modelo se determina maximizando la superficie de contacto “pieza/base de impresión” y minimizando el uso de soportes. Los parámetros de impresión seleccionados para aorta/vaso fueron, respectivamente: a) altura de capa: 210/100 μm ; b) número de capas perimetrales: 3/2; c) tipo de relleno: *grid*, densidad 25/40 %; d) posicionado de soportes: automático; e) material del soporte: PLA/PVA (alcohol de polivinilo); f) tipo de soporte: *zigzag*; g) orientación del soporte: 0°; h) superficie de contacto soporte/pieza: densa. El tiempo total de impresión para cada modelo (aorta/vaso) fue de 607/151 min con un peso de material de 67/11 g y un coste material de 1.31/2.30 €, respectivamente.

En la impresión MSLA, teniendo en cuenta que la mecánica del proceso requiere separar por tracción la capa curada del FEP film (*Fluorinated ethylene propylene*), la orientación de la pieza, el vaciado interior y el posicionamiento de soportes, respondieron a la búsqueda de secciones/capas con una pequeña cantidad de puntos curados en simultáneo. Para fabricar los modelos, soportes incluidos, se utilizó resina fotocurable (*Elegoo Water Washable UV*). Los parámetros de impresión seleccionados fueron: a) altura de capa: 50 μm ; b) grosor de las paredes: 2.70 mm; c) relleno: 0%; d) vaciado interior de la pieza: sí; e) agujeros de drenaje interior: sí; f) colocación de soportes: manual.

Al finalizar la impresión, los modelos fueron: a) separados de la base de impresión; b) lavados (en tanque automático) con agua para eliminar la resina no curada del exterior y/o interior de la pieza; c) procesados para eliminar los soportes; d) secados; y e) curados (estación rotativa de curado) hasta alcanzar máxima dureza. Algunos modelos aptos para planificación y ensayo quirúrgico se fabricaron con resinas transparentes y flexibles (*Zortrax Resin FLEXIBLE*, *Elegoo Standard LCD UV*).

3. Resultados y discusión

La Figura 1 muestra el procesado de los modelos de aorta y de vaso sanguíneo. En primer lugar, se importan las imágenes DICOM a los aplicativos de análisis. La Figura 1a muestra el resultado de este proceso en *Invesalins*. A continuación, se selecciona y edita la malla y se definen distintas máscaras (Figura 1b). Luego, los errores de malla se corrigen con *Meshmixer* (Figura 1c) y el modelo queda listo para su exportación

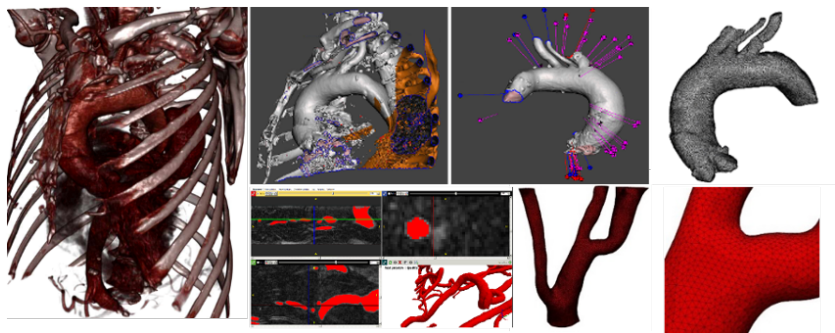


Figura 1. a) Previsualización del modelo de aorta (renderizado con *InVesalins*). b) Selección y edición de malla. c) Identificación de errores de malla (*Inspector Meshmixer*, *Autodesk*). d) Modelo digital de aorta en formato STL. e) Segmentación del lumen interno de un vaso sanguíneo (función Greyscale (intervalo 300-1400), *Simpleware*, *ScanIP*). f) Modelo STL del vaso sanguíneo. g) Detalle de la malla.

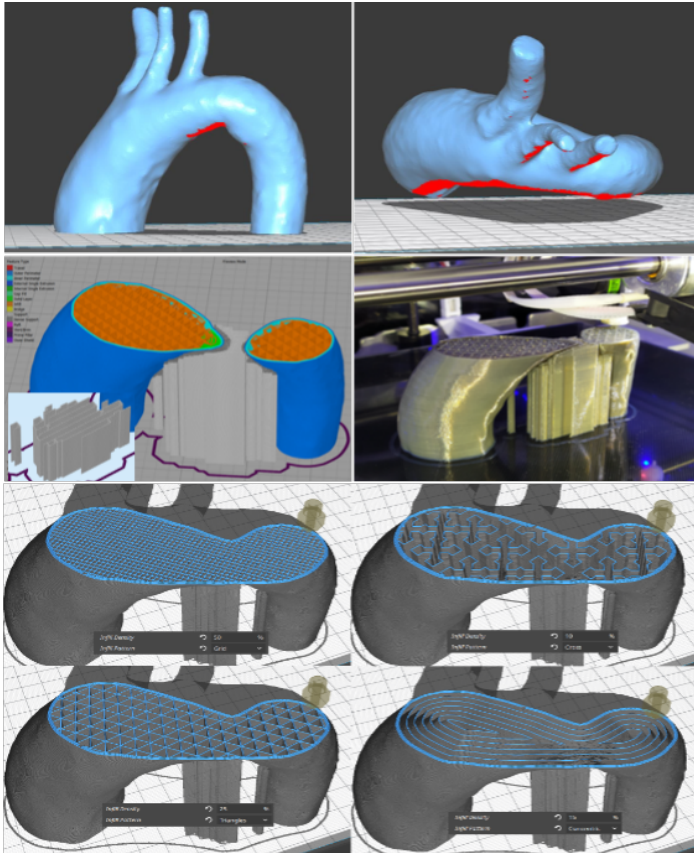


Figura 2. Simulación del proceso de impresión FDM de un modelo de aorta (*BCN3D Cura* y *Simplify3D*) a/b) Orientación vertical/horizontal del modelo (en rojo, zonas en voladizo que requieren soportes). c) Diagrama de elementos por colores (azul oscuro/claro, perímetro exterior/interior; naranja, relleno interior; verde, relleno perimetral; gris, soportes). d) Impresión real del modelo. e-h) Simulación de una misma capa de impresión con distintos rellenos (Grid-50% (e), Cross-10% (f), Triangles-25% (g), Concentric-15% (h)).

STL (Figura 1d). El procesado del vaso sanguíneo, realizado con *ScanIP*, fue más sencillo ya que no necesitó de ningún otro programa de edición/corrección de malla. La Figura 1e muestra la segmentación y el escalado de grises, la Figura 1f su reconstrucción final en formato STL y la Figura 1g un detalle ampliado de la malla.

La Figura 2 muestra una simulación de impresión FDM, generada con *BCN3D Cura* (2a-b, 2e-h) y *Simplify3D* (2c), para el modelo de aorta que demuestra que el posicionamiento óptimo es el vertical (Figura 2a) y no el horizontal (Figura 2b) ya que así se maximiza la superficie de contacto “pieza/base de impresión” con mínimo *overhang*. La Figura 2b muestra que un posicionamiento horizontal tendría mínima superficie de contacto y, por tanto, mayor presencia de estructuras de soporte. *BCN3D Cura* y *Simplify3D* permiten definir la calidad del modelo impreso ajustando parámetros de altura de capa, número de capas tanto de su perímetro exterior (*outline shells*) como de sus superficies base/tope (*top/bottom solid layers*) o la forma/densidad del relleno interior (*infill*), entre muchos otros. Por ejemplo, la Figura 2c muestra el resultado que se obtiene con los parámetros de la sección 2. Materiales y Métodos. La Figura 2d muestra el resultado real de aplicar dichos parámetros. Las Figuras 2e-2h muestran la misma simulación de impresión de capa que la Figura 2c, pero aplicando distintas formas y densidades para los rellenos interiores.

La Figura 3 muestra el proceso de impresión real, a distintos tiempos, del modelo de aorta con los parámetros seleccionados en 2. Materiales y Métodos. En total, se necesitaron 586 capas de impresión. Las Figuras 3a-e muestran el estado de impresión para las capas 1, 30, 250, 450 y 586, respectivamente. En estas Figuras se aprecia el avance de la impresión del modelo, de su relleno interior y de las estructuras de soporte (todo fabricado con PLA). Las Figuras 3f-g muestran por separado el modelo real de aorta y el soporte utilizado, respectivamente; en ellas se puede apreciar la calidad media del acabado superficial correspondiente a la altura de capa utilizada (210 μm).

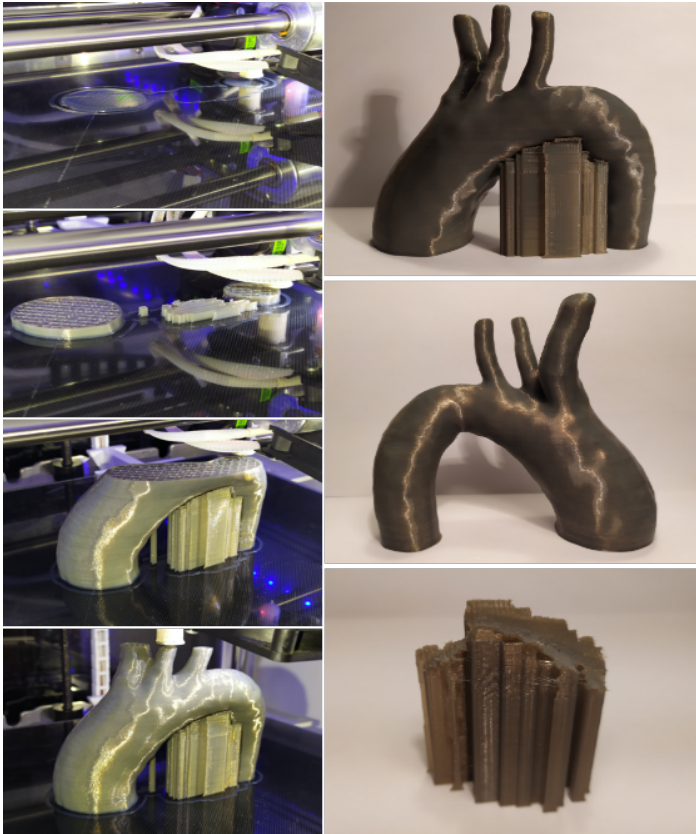


Figura 3. Etapas del proceso de impresión FDM (Cubepro modificada open source). a) Capa 1/586; contacto base/pieza. b) Capa 30/586; se aprecia relleno y soportes. c) Capa 250/586; pieza apoyada sobre soportes. d) Capa 450/586; pieza casi acabada e) Pieza final con soportes. f) Pieza final sin soportes. g) Soporte sobrante.

La Figura 4 muestra las distintas etapas seguidas para la obtención del modelo real de vaso sanguíneo con ScanIP (Figura 4a), desde su posicionamiento, orientación y colocación de soportes con BCN3D Cura

(Figura 4b), hasta su impresión FDM en PLA con soportes hidrosolubles de PVA (Figura 4c). En este caso, al tratarse de un modelo complejo es necesario imprimir los soportes con filamento hidrosoluble para facilitar su eliminación y evitar aparición de marcas en su superficie (Figura 4d).

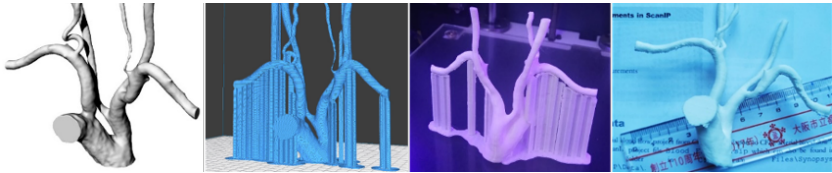


Figura 4. a) Modelo digital de un vaso sanguíneo reconstruido con ScanIP (Simpleware ©). b) Simulación del proceso de impresión FDM con *Ben3D Cura 2.1.2*. c) Modelo finalizado con las estructuras de soporte. d) Modelo una vez disueltas las estructuras de soporte.

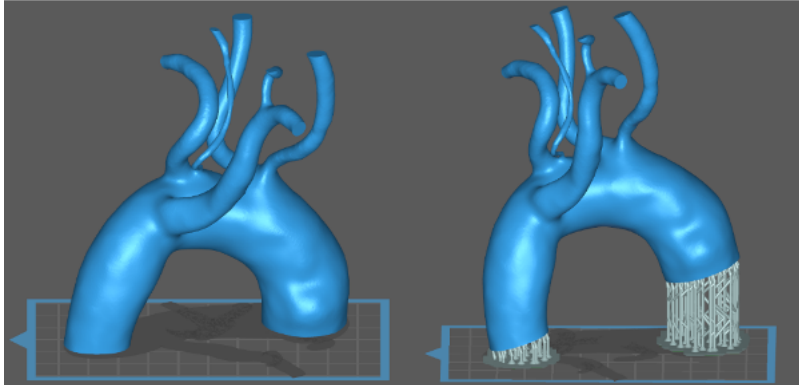


Figura 5. Distintas orientaciones del modelo de aorta en el espacio de impresión. a) Sin soportes, se maximiza el contacto modelo/base de impresión. b) Con soportes, se minimizan tanto las superficies que curan a la vez como las fuerzas de tracción sobre el film FEP.

En contraste con la impresión FDM, en la impresión MSLA existen diferencias que afectan al proceso de preparación previa de los modelos. La Figura 5, por ejemplo, muestra la mejor manera de posicionar y de orientar el modelo de aorta para que las fuerzas de tracción que se originan entre el film FEP y la pieza queden compensadas por las que se generan entre la pieza y el soporte/base de impresión. Estas fuerzas pueden causar deformaciones en la pieza y/o roturas en el film y aparecen a medida que la base de impresión que sostiene la pieza se desplaza verticalmente. Es decir, cada vez que se imprime una nueva capa, la pieza debe separarse del FEP film para que quede libre una nueva superficie que vuelva a cubrirse de resina para su posterior exposición. Por este motivo, desde un punto de vista geométrico, hay que evitar la exposición de grandes superficies horizontales por capa de impresión. En este sentido, la opción de impresión de la Figura 5b (con soportes, mínima superficie de contacto) es mecánicamente menos exigente que la de la Figura 5a (sin soportes, mayor superficie de contacto), si bien los soportes pueden comprometer el acabado de las superficies con las que están en contacto.

La Figura 6 muestra otros detalles de edición que hay que tener en cuenta durante la simulación previa a la impresión MSLA del modelo de aorta como son: a) definir el grosor de la pared; b) vaciar interiormente

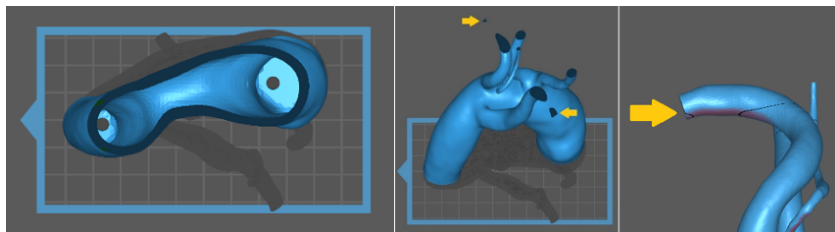


Figura 6. a) Objeto vaciado con pared de 3 mm y agujeros de drenaje en la base. b) Partes inicialmente desvinculadas del resto de la pieza. c) Unión de dichas partes a medida que se generan más capas.

el modelo; c) colocar puntos de drenaje para facilitar la evacuación de la resina no curada al finalizar la impresión (a-c: Figura 6a); d) identificar partes desvinculadas del modelo que será necesario soportar, preferiblemente de forma manual (Figura 6b); y e) controlar el proceso de unión de dichas partes al resto del modelo (Figura 6c). En este sentido, los soportes no sólo deben facilitar la conexión de estas zonas desvinculadas, sino que deben ser suficientemente rígidos como para soportar las fuerzas de tracción y/o momentos flectores que se originan durante el despegado de la pieza del film FEP. Si no se colocan soportes, todas las zonas desvinculadas quedarán adheridas al film FEP y la pieza final no estará completa.

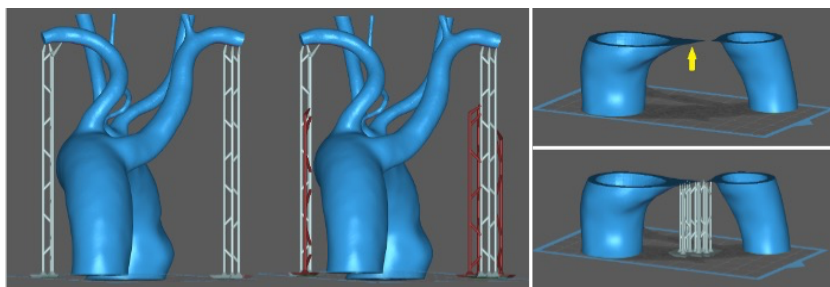


Figura 7. a) Adición de soportes primarios (izquierda) y secundarios (derecha).
 b) Las zonas con crecimiento horizontal pronunciado requieren de la adición de soportes (c).

Las Figuras 7 y 8 muestran ejemplos de colocación de soportes; estos pueden ser gruesos si las superficies son grandes o inclinadas, medios si se trata de zonas de transición y finos para zonas aisladas de pequeño tamaño. La Figura 7a muestra la colocación de soportes primarios y cómo se puede aumentar su rigidez con soportes secundarios (Figura 7a, en rojo). En la Figura 7b se localizan aquellas zonas de la pieza que muestran un crecimiento horizontal pronunciado y como deberían

colocarse soportes adicionales (Figura 7c). La Figura 8a es otro ejemplo de soporte para una vena delgada con desplazamiento pronunciado. La Figura 8b muestra distintos ángulos de observación del modelo de aorta para facilitar la visión de las distintas estructuras que lo soportan. Adicionalmente, se incluyen otros modelos complejos como son venas con aneurismas (Figura 8c) y sistemas venosos ramificados (Figura 8d) para los cuales es mejor utilizar soportes automáticos complementados con soportes manuales en aquellas zonas especialmente comprometidas.

En resumen, los soportes se necesitan para evitar deformaciones no deseadas de la pieza, preferentemente de las zonas en voladizo y/o de bajo espesor. Hay que tener en cuenta que la resina expuesta a la luz, si bien es suficientemente sólida como para conformar la pieza, no está totalmente curada y, por tanto, las zonas en voladizo y/o de bajo espesor pueden mostrar mayor flexibilidad durante el despegado de la capa curada del film FEP, y causar deformación permanente en puntos donde se supere el límite elástico. Así mismo, al presionar la pieza sobre la resina para establecer la altura de capa pueden producirse deformaciones por flexión, debido a la elevada densidad y viscosidad de la resina, en las zonas en voladizo muy pronunciado y de bajo espesor.

La Figura 9 muestra el resultado real de aplicar todas las operaciones al modelo de aorta. La Figura 9a muestra un instante avanzado de la impresión a medida que la base se aleja del recipiente que contiene la resina. La Figura 9b muestra la impresión final del modelo con todos los soportes incluidos. La Figura 9c muestra la etapa de lavado y de eliminación de la resina sobrante. La Figura 9d muestra la etapa de curado, previa eliminación de soportes; en esta etapa el modelo alcanza su máxima resistencia mecánica. Adicionalmente, la Figura 9e muestra un modelo de vena con aneurisma junto al modelo de aorta y la Figura 9f es un detalle de un vaso delgado del modelo de aorta (diámetro < 2 mm).

Para finalizar, la Figura 10 muestra otros modelos físicos cardiovasculares fabricados con una mezcla de resina flexible y resina estándar (ver apartado 2. Materiales y Métodos) que permite variar la trans-

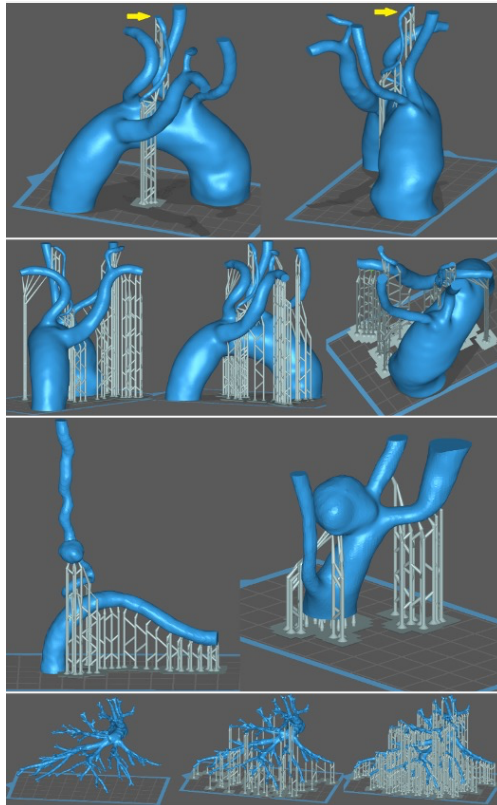


Figura 8. Estructuras que necesitan soportes en una impressió MSLA. a) Model de vena delgada con desplazamiento pronunciado. b) Modelo de aorta. c) Modelos con aneurismas. d) Modelos complejos.

parencia, la calidad del acabado superficial y la flexibilidad/rigidez del material para adaptarlo a las características físicas y mecánicas del modelo a replicar para que sean adecuadas a la práctica y al ensayo quirúrgico.



Figura 9. Proceso de impresión 3D (tecnología MSLA) del modelo de aorta. a) Impresión en proceso; b) Final del proceso de impresión; c) Lavado de la pieza; d) Curado de la pieza, previa eliminación de los soportes, en equipo con base rotatoria; e) Modelo físico de aorta resultante del proceso de impresión MSLA. f) Detalle de un vaso sanguíneo de menos de 2 mm de diámetro.

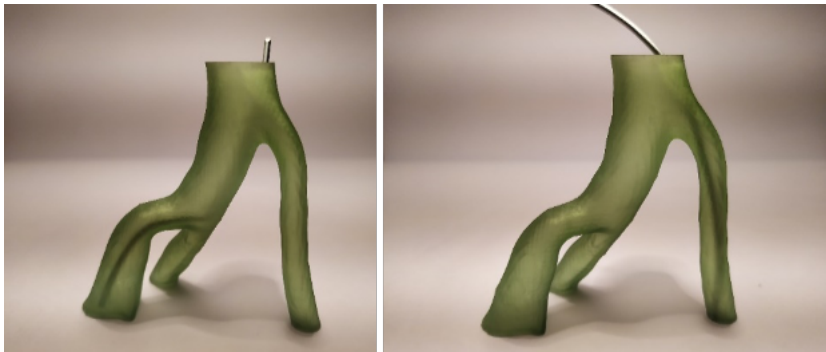


Figura 10. Ejemplo de modelos translúcidos y flexibles, con acabado superficial fino, adecuados para la práctica y ensayo quirúrgico.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten concluir que las tecnologías de impresión FDM y MSLA son adecuadas para fabricar modelos cardiovasculares con excelente precisión dimensional, acabados superficiales aceptables, en una gran variedad de materiales, con un coste razonable y en tiempos relativamente cortos. Estas tecnologías de escritorio y de bajo coste permiten crear modelos anatómicos (sanos, con enfermedades cardiovasculares y/o defectos congénitos) con la precisión suficiente. El uso de resinas con propiedades semejantes a los tejidos, son adecuadas para imprimir modelos educativos que permiten su manipulación, el ensayo de dispositivos y la práctica de procedimientos quirúrgicos. La impresión de modelos complejos (malformaciones congénitas y/o patologías específicas) facilita el tratamiento individualizado del paciente y mejora la planificación preoperatoria. En general, el incremento del tiempo requerido en la etapa de procesado se compensa por la reducción del tiempo de quirófano y la mejora de la seguridad de las intervenciones. Los avances futuros en el diseño de nuevos algoritmos de segmentación y preparación de malla automáticos open access permitirán obtener modelos digitales 3D con una mínima

intervención humana, en tiempos y costes reducidos y de mayor precisión. Los nuevos filamentos y resinas, con propiedades miméticas a los tejidos a reproducir, mejorarán el realismo de los entrenamientos quirúrgicos con los modelos impresos 3D.

Referencias

- DURFEE, W. K.; & IAZZO, P.A. (2019). Ch. 21: Medical Applications of 3D Printing. In *Engineering in Medicine*, Academic Press, Ed.: P.A. Iazzo., 527-543. ISBN: 9780128130681. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813068-1.00021-X>
- GARDIN, C.; FERRONI, L.; LATREMOUILLE, C. et al. (2020). Recent applications of three dimensional printing in cardiovascular medicine. *Cells*, 9(3):742. <https://doi.org/10.3390/cells9030742>
- GIANNOPOULOS, A.; MITSOURAS, D.; YOO, S. J. et al. (2016). Applications of 3D printing in cardiovascular diseases. *Nat. Rev. Cardiol.*, 13,701-718. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2016.170>
- MARTELLI, N.; VAN DEN BRINK, H. et al. (2016). Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review. *Surgery*, 159(6), 1485-1500. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2015.12.017>
- OLIVEIRA, M.A.; SANTOS, C.A.; BRANDI, A.C. et al. (2020). Three-Dimensional printing: is it useful for cardiac surgery? *Braz. J. Cardiovasc. Surg.*, 35(4), 549-554. <https://doi.org/10.21470/1678-9741-2019-0475>
- OTTON, J.M.; BIRBARA, N.S.; HUSSAIN, T. et al. (2017). 3D printing from cardiovascular CT: a practical guide and review. *Cardiovasc. Diagn. Ther.*, 7(5),507-526. <https://doi.org/10.21037/cdt.2017.01.12>
- RENGIER, F.; MEHNDIRATTA, A.; VON TENGG-KOBLIGK, H. et al. (2010). 3D printing based on imaging data: review of medical applications. *Int. J. Cars.*, 5, 335-341. <https://doi.org/10.1007/s11548-010-0476-x>
- VALVERDE, I. (2017). Three-dimensional Printed Cardiac Models: Applications in the Field of Medical Education, Cardiovascular Surgery, and Structural Heart Interventions. *Revista Española de Cardiología*, 70(4), 282-291. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2016.09.043>
- VUKICEVIC, M.; MOSADEGH, B.; MIN, J.K.; & LITTLE, S.H. (2017). Cardiac 3D printing and its future directions. *J. Am. Coll. Cardiol. Cardiovasc. Imaging*, 10(2),171-184. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.12.001>

Medidas Experimentales Obtenidas con Videocámaras del Movimiento de Partículas Plásticas Inducido por el Oleaje

José M. Alsina

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

Erik van Sebille

Institute for Marine and Atmospheric Research, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands

Resumen

El transporte de la basura plástica desde su origen terrestre hasta las zonas de acumulación conocidas en los grandes giros oceánicos se produce a través de las zonas costeras donde los procesos de transporte están dominados principalmente por la acción del oleaje. El presente trabajo describe la realización de medidas experimentales en un canal de oleaje utilizando medidas ópticas de tipo PTV. Se ha utilizado oleaje con diferente peralte (variando el periodo) y partículas de plástico con diferente densidad y tamaño. De este modo se diferencia el movimiento de partículas flotantes que se mueven en superficie y no flotantes que se mueven próximo al fondo. El transporte de las partículas flotantes es en la dirección de propagación del oleaje con una velocidad igual a la deriva de Stokes independientemente de la densidad y tamaño de las partículas (siempre que se mantengan flotando en la superficie). La velocidad de las partículas flotante se incrementa con el cuadrado del peralte del oleaje. Sin embargo las partículas de plástico no flotantes se mueven por el fondo también en la dirección de propagación del oleaje y su velocidad disminuye a medida que aumenta el peralte del oleaje.

Abstract

The transport of plastic particles from inland sources to the oceans garbage patches occurs through coastal regions where the transport processes depend highly on wave-induced motions. In this study, experimental measurements of the plastic particles wave-induced lagrangian drift are presented investigating the influence of the wave conditions, particle size and density on the motion of relatively large plastic particles. The measured net drift of the floating particles correlates well with theoretical solutions for particle Stokes drift, where the net drift is proportional to the square of the wave steepness. Floating particles remain at the free water surface because of buoyancy and no evidence of any other influence of particle inertia on the net drift is observed. Non-floating particles move close to the bed with lower velocity magnitudes than the floating particles' motion at the free surface. The drift of non-floating particles reduces with decreasing wave number, and therefore wave steepness.

1. Introducción

La presencia de basura plástica en el medio marino está creciendo exponencialmente y ya se ha encontrado la presencia de basura plástica en casi todos los medios marinos incluyendo el fondo de los océanos, zonas polares o islas remotas. El plástico se infiltra en las redes tróficas siendo una potencial amenaza para la vida y para la salud.

Es comúnmente asumido que el origen de la basura plástica presente en el océano es terrestre y que el medio de transporte desde el origen hasta los grandes giros oceánicos donde se acumula es mediante vías fluviales (ríos, alcantarillado, aguas de tormenta) y zonas costeras. Sin embargo, a pesar de que los mecanismos de transporte oceánicos de plásticos se conocen relativamente bien, el transporte de la basura plástica en zonas costeras dominadas por la presencia de olas no lineales no está claro (van Sebille et al., 2020). De hecho, la mayoría de modelos numéricos oceánicos no consideran el transporte en zonas costeras.

Sin embargo, estudios recientes han postulado que las zonas costeras pueden ser grandes zonas de acumulación (Olivelli et al., 2020) y que podrían explicar parte del imbalance entre la cantidad de plástico que se vierte al mar de fuentes terrestres cada año, estimado en unas 5-10 millones de Toneladas anuales (Jambeck et al., 2015) y la cantidad de basura plástica presente en los grandes giros, estimada en unos 250 mil toneladas aproximadamente (Ryan et al., 2009).

Los procesos de transporte del plástico en las zonas costeras están altamente dominados por el oleaje y las corrientes inducidas por el oleaje (Alsina et al., 2020). Las olas en alta mar son altamente simétricas pero a medida que se aproximan a la costa pierden su simetría debido a la presencia del fondo y morfología, la no linealidad de la velocidad de las olas aumenta hasta que las olas se hacen inestables y rompen en un proceso turbulento. Cuando una partícula de plástico se encuentra flotando en un campo de olas, experimenta una velocidad neta en la dirección de propagación del oleaje denominada Stokes Drift o deriva de Stokes en honor a su descubridor sir George G. Stokes (Stokes, 1847). La deriva de Stokes es una velocidad de segundo orden y de menor magnitud que la velocidad orbital del oleaje al ser resultante de las diferencias netas en la velocidad orbital de las olas (Longuet-Higgins, 1953; van den Bremer & Breivik, 2017). De este modo la deriva de Stokes es teóricamente cero en una onda perfectamente simétrica y aumenta cuando las olas se hacen más asimétricas (aumenta cuando las olas se aproximan hacia la costa). La deriva de Stokes es en la dirección de propagación de las olas en superficie y disminuyendo en profundidad. A pesar de su baja magnitud, la deriva de Stokes es importante debido a la acción persistente del oleaje y ha sido mostrada como un importante agente de transporte de plástico hacia las orillas y hacia las zonas polares (Fraser et al., 2018).

A medida que las olas se aproximan hacia la costa y se hacen mas asimétricas aumentando la deriva de Stokes, la acumulación de agua en la orilla es contrarrestada con una corriente en profundidad contraria a la

propagación de las olas. Esta corriente también conocida como corriente de resaca o “undertow” es máxima en la zona donde rompen las olas. De esta manera el transporte de Stokes en la dirección del oleaje en superficie (positivo de aquí en adelante) es compensado con un transporte en dirección contraria (negativo) en profundidad.

Como resultado de este doble transporte (positivo en superficie y negativo en profundidad), el tamaño y la densidad de las partículas de plástico juega un papel fundamental en el transporte del plástico. Así las partículas de baja densidad, “flotantes” se asume que viajan con las olas hacia la playa mientras que las partículas de plástico más densas (“no flotantes”) se moverían potencialmente hacia mar adentro. Sin embargo la influencia de la densidad y tamaño de las partículas no está clara. Incluso en partículas flotantes no se sabe bien si partículas con diferente densidad experimentan variaciones en la deriva de Stokes. Algunos estudios numéricos sugieren que las partículas con mayor densidad se mueven más despacio que la velocidad de Stokes (Santamaria et al., 2013). Sin embargo estos resultados no han sido verificados experimentalmente.

En este trabajo se presentan medidas experimentales como las presentadas en Alsina et al. (2020) donde se muestra el transporte de partículas de plástico inducido por el oleaje. Para ello se han utilizado partículas esféricas con diferente tamaño y densidad y se ha variado el peralte del oleaje variando el periodo del oleaje manteniendo constante su altura.

2. Descripción de los experimentos y análisis de los datos

2.1. Configuración de los experimentos

Las medidas experimentales se han llevado a cabo en un canal de oleaje en la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). El canal CIEMito (ver imágenes del canal en Figura 1 y configuración del canal en Figura 2) es un canal con paredes de cristal que tiene una longitud de

16m, una anchura de 0.40 m y una profundidad de agua de 0.30 m el sistema de coordenadas (x, z) tiene su origen horizontal en la posición en reposo de la pala de generación positivo hacia la playa y vertical en la superficie del agua en reposo, positivo hacia arriba. Las olas se generan mediante un sistema de generación consistente en una pala y un pistón hidráulico controlado por ordenador y situado en un extremo del canal (Figura 1, izquierda). En el otro extremo del canal se ha instalado una zona de absorción del oleaje para evitar la reflexión de las olas y su interferencia en las medidas. La zona de absorción consiste en una playa construida con paneles de madera con una pendiente de 1:15 y comenzando a una distancia $x = 9.5$ m, $z = -0.30$ m y finalizando en $x = 12.5$ m, $z = -0.10$ m. En la playa absorbente se ha instalado espuma sintética en compartimentos separados por unos paneles de rejilla. La espuma se coloca en tres compartimentos con densidad de la espuma aumentando a medida que nos aproximamos al final de la playa.



Figura 1. Imagen general del canal de oleaje (izquierda) y de la zona de medida (derecha).

La superficie libre del agua y la altura de las olas se miden mediante siete sensores resistivos que miden las variaciones de conductividad sobre dos filamentos debido a la posición del agua en el filamento. Los sensores se montan en plataformas móviles obteniendo una gran resolución espacial (Figura 2.) moviendo los sensores y repitiendo las

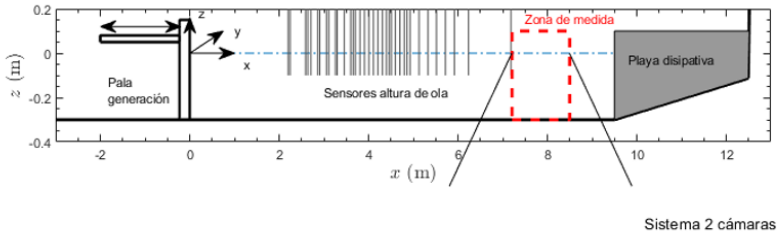


Figura 2. Configuración de los experimentos y de los instrumentos de medida.

condiciones de oleaje. Las olas generadas son trenes de olas regulares con una altura de ola de $H = 0.06\text{m}$ medida en el sensor más próximo a la pala. El periodo de las olas (intervalo de tiempo entre dos fases de la ola, por ejemplo la distancia temporal entre dos crestas de ola) se varía modificando el peralte de las olas (ver Tabla 1) para estudiar la influencia del peralte en el transporte de plástico. El peralte de la ola es la relación de la altura de la ola y su longitud, siendo definida matemáticamente como, $S = a \cdot k$, siendo a la amplitud de la ola $= H/2$ y k el número de onda, $k = \frac{2\pi}{L}$ siendo L la longitud de ola (la distancia espacial entre dos fases de la ola, por ejemplo la distancia entre dos crestas).

Condición de oleaje	(m)	(s)	(-)	(m)
M1	60	0.75	219	0.30
M2	63	1.00	144	0.30
M3	64	1.50	86	0.30
M4	56	2.00	54	0.30

Tabla 1. Condiciones de oleaje generadas con información de altura de ola (H), período (T), peralte del oleaje (S) y profundidad del agua (b).

2.2. Características de las partículas de plástico

Material	(mm)	(-)	(m/s)
Cera	8.0	760	132
Cera con aditivo 1	8.0	910	80
Cera con aditivo 2	8.0	1.022	-39
Polipropileno (PP)	4.0	840	74
	8.0	840	108
	12.0	840	133
Nylon	4.0	1.100	-58
	8.0	1.100	-85
Polioximetileno o Acetal (POM)	4.0	1.340	-110
	8.0	1.340	-158
	12.0	1.340	-194

Tabla 2. Características de las esferas de plástico empleadas en los experimentos con información del tipo de material, tamaño (diámetro d_p), densidad relativa (s_p) y velocidad de caída (v_p) definida negativa hacia el fondo y positiva hacia la superficie.

En el presente trabajo experimental se han utilizado partículas de diferente tamaño y densidad para estudiar su influencia en el transporte. Para ello, se han utilizado partículas esféricas comerciales con tamaño y densidad definidos. También se han utilizado partículas fabricadas específicamente para estos experimentos con cera y aditivos para modificar su densidad (ver Tabla 2). El rango de tamaños utilizados oscila entre 4 y 12 mm mientras que las densidades relativas ($s_p = \frac{\rho_p}{\rho_w}$,

siendo ρ_p la densidad de las partículas y ρ_w la densidad del agua ($= 1000 \text{ kg/m}^3$) oscilan entre 0.760 y 1.34. Es decir estamos utilizando partículas flotantes con menor densidad que el agua ($s_p < 1$) y partículas no flotantes con mayor densidad que el agua ($s_p > 1$). Una variable que tiene en cuenta la influencia de ambos parámetros (densidad y tamaño) en el comportamiento de las partículas al mismo tiempo es la velocidad de caída de la partícula (w_p), definida como la velocidad constante de caída de la partícula en una columna suficientemente larga de agua en reposo donde la aceleración de la gravedad es igual a la fricción del agua dando lugar a una velocidad constante. La velocidad de caída es proporcional a la densidad relativa y al diámetro de la partícula.

2.3. Medidas ópticas del movimiento del plástico con cámaras de vídeo y Particle Tracking Velocimetry (PTV)

El movimiento de las partículas de plástico se mide en una zona plana del canal situada a una distancia aproximada de 7.5 m de la pala de generación de oleaje (ver Figuras 1 y 2). El movimiento de las partículas se mide utilizando dos cámaras de vídeo sincronizadas (marca ueve modelo IDS UI-31800CP-M-GL) con una resolución de 5.1MP y grabando con una frecuencia de entre 60 y 80 fps (frames por segundo). Las dos cámaras de vídeo se colocan a un lado del canal enfocando a la zona de medida. La zona de medida cubre una zona de 0.925m (2592 pixels) en la horizontal y de 0.321 m (648 pixels) en la vertical siendo la resolución por pixels de unos 0.5 mm. La utilización de dos cámaras de vídeo simultáneamente permite la obtención de las trayectorias de las partículas en tres dimensiones utilizando el concepto de estereoscopia y distancias epipolares. De esta manera, la tercera dimensión (distancia perpendicular al eje cámaras/pared del canal) es reconstruida por correlación entre las partículas observadas en las dos cámaras al mismo tiempo (Wilneff, 2003). Para ello las dos cámaras de vídeo son calibradas utilizando un patrón tridimensional. El patrón consiste en un cubo

escalonado de color negro con diferentes niveles de profundidad y con puntos blancos en relieve donde la posición de los puntos blancos varía en las tres dimensiones del espacio.

El patrón de calibrado es grabado por las dos cámaras para establecer la matriz de transformada que convierte la información de pixel en distancias reales. La conversión de pixel a posición en el eje de coordenadas del canal de oleaje se obtiene con la información fotométrica de la posición del patrón de calibrado y de las cámaras (Wilneff, 2003). La información necesaria es entre otras: posición de los targets (puntos blancos) en el patrón de calibrado, distancia de las cámaras al centro del patrón de calibrado, resolución de las imágenes, tamaño del sensor, distancia focal, índices de refracción del cristal del canal y del agua, grosor del cristal, y distancia del patrón de calibrado a la pared de cristal del canal.

El último elemento importante en el sistema de medidas es la iluminación de las partículas para ser detectadas por las cámaras. La iluminación se obtiene mediante unas lámparas construidos con luces LED (Light Emitting Diode) de alta potencia situadas en lo alto del canal iluminando las partículas desde arriba (ver Figura 1). Las imágenes de las partículas iluminadas son guardadas y analizadas utilizando el software openptv (Kreizer et al., 2010). El calibrado y cálculo de las trayectorias es realizado utilizando openptv. A partir de las imágenes obtenidas, openptv realiza la detección de las partículas iluminadas sobre el fondo oscuro. La detección de las partículas se realiza mediante un filtrado de la imagen para reducir no uniformidades en el fondo oscuro de la imagen como resultado de la iluminación. A continuación, la detección del centro de masas de la partícula se realiza mediante un análisis de la escala de grises de la imagen. La detección del centroide de la partícula tiene una precisión por debajo del pixel.

Mediante correlación entre las imágenes (unión de líneas epipolares) de la misma partícula detectada en las dos cámaras simultáneamente y el calibrado realizado se obtiene la correspondencia estereoscópica y la

información en distancias reales (x,y,z) de la posición de las partículas. Finalmente, las trayectorias son construidas mediante la detección y seguimiento de las partículas en el tiempo.

2.4. Análisis de las trayectorias de partículas de plástico. Cálculo del transporte medio

La Figura 3 muestra un ejemplo de trayectorias de las partículas debidas al movimiento del oleaje calculadas en las tres dimensiones para partículas flotantes (Figura 3a) con velocidad de caída de la partícula positiva y no flotantes (Figura 3b) con velocidad de caída negativa. Se puede observar en la Figura que las partículas flotantes describen un movimiento orbital (circular) debido a la acción del oleaje además de un movimiento medio en la dirección de propagación del oleaje (deriva de Stokes). El movimiento de las partículas no flotantes en cambio es oscilatoria hacia adelante y hacia atrás pero paralelo al fondo del canal con pequeños saltos de las partículas debido a la acción del oleaje. Se observa que el movimiento de las partículas no flotantes es generalmente menor que las flotantes. También existe un movimiento neto de las partículas no flotantes en la dirección de propagación del oleaje pero de menor magnitud como se explicará la sección 3.

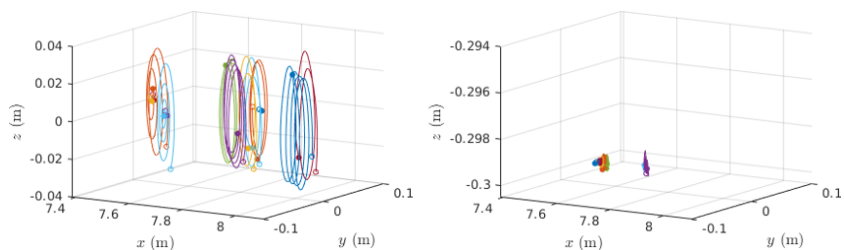


Figura 3. Ejemplo de trayectorias en tres dimensiones para partículas flotantes (a) y no flotantes (b). (a) se corresponde a la condición M2 y partículas de d_p 8 mm y $s_p = 0,840$ mm y mientras que (b) se corresponde con M1 y partículas de $d_p = 4$ mm y $s_p = 1,10$ mm.

Como se puede observar en la Figura 3, el movimiento medio (o deriva) de las partículas es de menor magnitud que el movimiento oscilatorio inducido por el oleaje. Para realizar un cálculo preciso del movimiento medio de las partículas utilizamos la metodología propuesta por en la cuál la integral de trayectoria de una partícula durante la mitad de período en que se mueve hacia atrás es trasladada en el espacio x , z una distancia x_0 , z_0 hasta que se iguala a la integral de la trayectoria durante la mitad del período en que se mueve hacia adelante. Para ello evaluamos la función distancia resultante de la integración:

$$d(T_L) = \frac{1}{T_L} \int_{t_0 - \frac{T_L}{2}}^{t_0 + \frac{T_L}{2}} (x_p(t_0 + T_L) - x_p(t_0) - x_0)^2 + (z_p(t_0 + T_L) - z_p(t_0) - z_0)^2 dt \quad (1)$$

donde x_p y z_p son las coordenadas lagrangianas horizontal y vertical respectivamente de la partícula de plástico. El período lagrangiano (T_L) se define como el tiempo necesario para que una trayectoria se encuentre en la misma fase (es ligeramente diferente al periodo del oleaje, euleriano) y las distancias x_0 , z_0 son las distancias medias recorridas por la trayectoria durante T_L . El par x_0 , z_0 se obtiene minimizando la función $d(T_L)$. Para ello se genera un vector de T_L y se calcula el valor mínimo de $d(T_L)$ y los valores de x_0 y z_0 resultantes.

La velocidad neta lagrangiana o deriva es calculada como:

$$u_L = \frac{x_0}{T_L} \quad (2)$$

El análisis de las trayectorias para obtener el desplazamiento horizontal lagrangiano mediante las ecuaciones (1) y (2) se realiza en un intervalo de unos 24 s de duración para todas las partículas detectadas

resultando en un número medio de 60 ciclos utilizados para el cálculo de las partículas flotantes y 123 para las partículas no flotantes. Las cámaras de video inician la grabación unos 3-5s después de que la pala de generación comience a funcionar (tiempo necesario para que las olas lleguen a los 7.5m donde se miden las trayectorias). Los primeros 12-15s de trayectorias medidas son descartados ya que el movimiento de las partículas no es estacionario resultando en un intervalo de tiempo final para el cómputo de unos 24s.

3. Resultados

El análisis de los resultados se presenta separadamente para las partículas flotantes y no flotantes.

3.1. Movimiento medio lagrangiano (deriva) de las partículas flotantes

El cálculo de la velocidad media de las partículas (u_L) o deriva (o transporte neto) realizado mediante las ecuaciones (1-2) a partir de las trayectorias de las partículas se presenta en la Figura 4 para las partículas flotantes. La velocidad media es promediada por número de partículas detectadas y por número de ciclos (T_L). En la Figura 4 se presenta la velocidad promedio y la desviación estándar en un dibujo de barras de error. La variabilidad media es en torno al 30% del valor medio obtenido. Esta es una variabilidad relativamente elevada que se explica por la influencia de la reflexión del oleaje y por la presencia de componentes espurios del oleaje (Alsina et al., 2020). Otros estudios similares (por ejemplo Grue & Koolas, 2017; Lenain et al., 2019) presentan variabilidades similares. Se presenta la velocidad en forma no dimensional con la velocidad de propagación del oleaje (c) y su distribución en función del peralte del oleaje (S).

La solución teórica de segundo orden de la velocidad media Lagrangiana viene dada por (Longuet-Higgins, 1953):

$$u_{L2nd} = \frac{a^2 \omega k \cosh(2K(z+h))}{2 \sinh^2(kh)} - \frac{a^2 \omega}{2h} \coth(kh) \quad (3)$$

Donde k es el número de onda $= 2\pi/L$, L es la longitud de ola, h es la profundidad del agua, ω es la frecuencia angular del oleaje $= 2\pi/T$ siendo T el periodo del oleaje y a representa la amplitud de la ola. El primer término en la ecuación (3) representa la clásica solución de Stokes (Stokes, 1847), mientras que el segundo término representa la velocidad media euleriana que asegura un flujo integrado igual a cero (Longuet-Higgins, 1953). La solución de segundo orden calculada utilizando (3) es ilustrada en la Figura 4 con una línea sólida.

La Figura 4 muestra que la velocidad media lagrangiana medida aumenta con el cuadrado del peralte del oleaje. Asimismo se observa que las velocidades obtenidas siguen la teoría descrita por la solución de segundo orden mostrada en la ecuación (3) independientemente del tamaño y densidad de las partículas siempre que la partícula permanezca flotando en la superficie libre del agua. De este modo se observa que, para el rango de tamaños y densidades utilizadas, el efecto dominante de la densidad y tamaño de las partículas es en la flotabilidad de las partículas estableciendo que la partícula permanezca en la superficie del agua o se hunda y que cualquier inercia que pueda tener la partícula debido a su masa es despreciable frente a la flotabilidad para las condiciones experimentales aquí mostradas.

3.2. Movimiento medio lagrangiano (deriva) de las partículas no flotantes

Cuando la densidad de las partículas es mayor que la del agua y su velocidad de caída negativa, las partículas de plástico caen rápidamente al fondo con una velocidad generalmente mayor al transporte inducido por

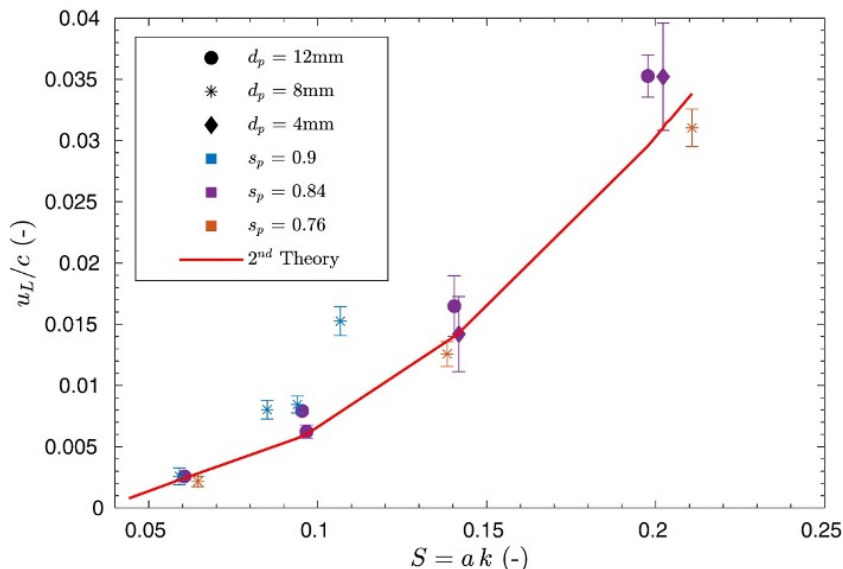


Figura 4. Velocidad media lagrangiana en forma no dimensional con la velocidad de propagación del oleaje u_L/c en función del peralte del oleaje (S) para partículas flotantes. La línea sólida representa la solución teórica de segundo orden.

el oleaje. Una vez en el fondo, las partículas de plástico se mueven paralelas al fondo (ver Figura 3b) en un movimiento oscilatorio hacia adelante durante la mitad del periodo de la ola en que las velocidades del oleaje son positivas (hacia tierra) y hacia atrás durante la otra mitad del movimiento de la ola en que la velocidad del oleaje es negativa (hacia mar). Las diferencias en este movimiento dan lugar a un movimiento neto lagrangiano o transporte medio que es diferente a la deriva de Stokes al depender también de la fricción con el fondo. Por otro lado, las partículas se mueven también en la componente vertical (perpendicular al fondo) dando pequeños saltos dependiendo del tamaño y densidad de las partículas.

La velocidad media lagrangiana para las partículas no flotantes calculada mediante la ecuación (1) se presenta en forma no dimensional (u_L/c) en la Figura 5 y su distribución para diferentes valores del peralte del oleaje. Las partículas no flotantes muestran en general una mayor variabilidad que las partículas flotantes. Esto se debe a su menor velocidad de movimiento y a la mayor influencia de las componentes del oleaje reflejadas en la velocidad en el fondo. Debido a esta variabilidad, se hace difícil establecer patrones claros debidos a las variaciones de tamaño y densidad.

Sin embargo de la Figura 5, es evidente que la velocidad media de las partículas no flotantes es menor que para las partículas flotantes y además disminuye con el peralte del oleaje contrario al caso de la partículas flotantes. Al disminuir el periodo de la ola, manteniendo la altura constante, la ola se hace más peraltada (igual altura en una menor distancia horizontal), esto hace que las partículas flotantes se muevan más rápido debido a su mayor diferencia de velocidad. Sin embargo, olas más cortas tienen una menor influencia en las velocidades en el fondo. Además parece claro en la Figura 5 que las partículas con diferente tamaño y diferente densidad se mueven con diferentes velocidades. En contra a lo que muestra la Figura 4, donde las velocidades de las diferentes partículas flotantes colapsan en torno a la solución teórica independientemente de su tamaño y densidad, para la Figura 5 no existe un patrón único que defina la velocidad de las partículas con diferente densidad y tamaño.

La influencia del peralte del oleaje (periodo de la ola al ser la altura constante) se ilustra con mayor claridad en la Figura 6 donde se muestran series temporales de la superficie del agua hecha no-dimensional con la amplitud de la ola (η/a), posición horizontal de las partículas no-flotantes en forma no dimensional con la amplitud (x_p/a) y la velocidad de las partículas en forma no dimensional con la velocidad de propagación del oleaje (u_p/a). El tiempo asimismo se presenta en forma no-dimensional

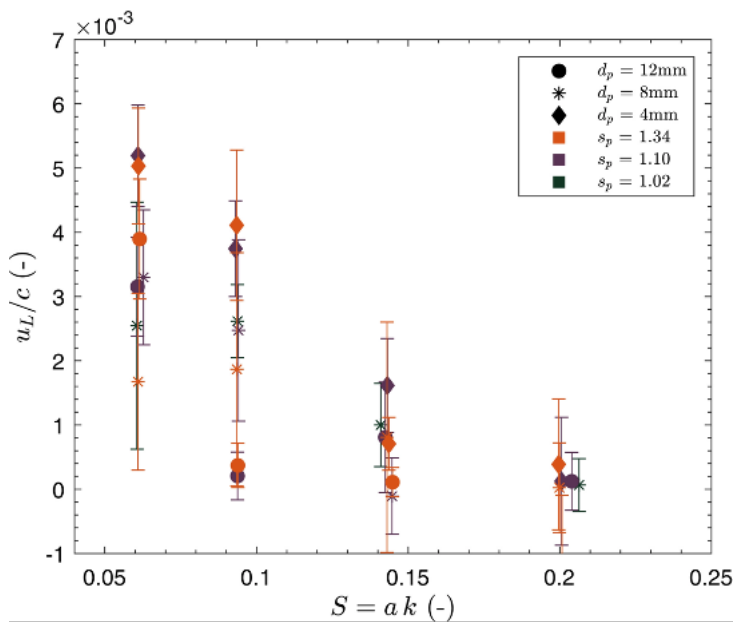


Figura 5. Velocidad media lagrangiana en forma no dimensional con la velocidad de propagación del oleaje (u_L/c) en función del peralte del oleaje (S) para partículas no flotantes.

con el periodo del oleaje (t/T). En la Figura 6b se observa el movimiento de las partículas consistente en un movimiento oscilatorio (oscilaciones) y un movimiento medio (pendiente de la gráfica). Además es evidente que, contrario a las partículas flotantes, el movimiento medio aumenta al aumentar el período del oleaje (aumenta al disminuir el peralte). También es evidente al aumentar la amplitud de las velocidades de las partículas al aumentar el periodo (Figura 6c).

4. Discusión y conclusiones

En este estudio experimental se han utilizado medidas de laboratorio en canal de oleaje utilizando cámaras de vídeo y técnicas de detección de

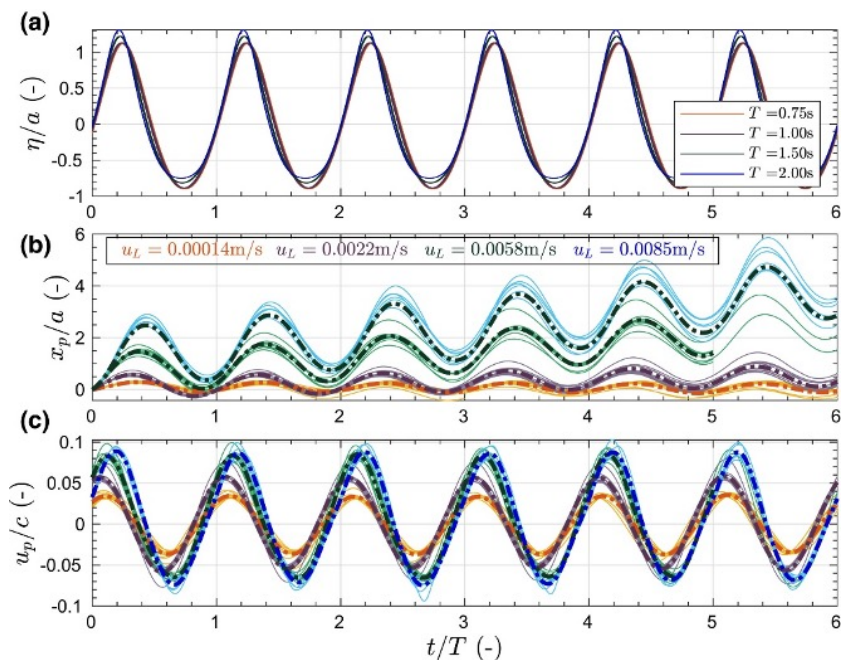


Figura 6. Evoluci3n temporal (t/T) de les variables no dimensionals: (a) superfície lliure de aigua (η/a), (b) posici3n horitzontal de les partícules (x_p/a) i (c) velocitat horitzontal de les partícules (u_p/a) per a diferents períodes de oleaje $T = 0.75, 1.00, 1.50$ i 2.00 on el peraltes de l'oleaje és respectivament $S = 0.20, 0.14, 0.09$ i 0.06 . Les característiques de les partícules són $d_p = 4\text{mm}$ i $s_p = 1.10$ per a tots els casos. Se mostren valors per partícula (línia s3lida) i mitjans (línia puntejada).

partícules en imàgines. Se estudia el moviment de les partícules de plàstic induït per l'oleaje analitzant les trajectòries de diferents tipus de partícules variant el seu pes i mida. Les condicions de l'oleaje es varien també (període de l'oleaje i per tant peraltes de l'ola) per estudiar la influència del peraltes de l'ola en el moviment de les partícules. Els experiments presentats

simulan el transporte de partículas de plástico en una simplificación del oleaje próximo a la costa.

El análisis de los resultados muestra que las partículas flotantes en aguas costeras ante un oleaje antes de rotura se mueven principalmente en la dirección de propagación de oleaje. De esta manera todas las partículas flotantes analizadas irían hacia la playa. Esto tiene importantes repercusiones para estimar el destino del plástico vertido al mar. Asimismo, se muestra que el tamaño de las partículas y su densidad tiene poca influencia en la velocidad de transporte de las partículas flotantes. Todas las partículas flotantes analizadas se mueven con la velocidad teórica predicha por Stokes. Durante los experimentos, las partículas flotantes permanecen siempre en la superficie y su tamaño o densidad no produce ningún cambio en esta situación, es decir no se observa un hundimiento gradual de las partículas.

Al moverse las partículas flotantes hacia la costa bajo la acción de oleaje, parece improbable que grandes sólidos flotantes vertidos al mar (botellas, bolsas flotantes, porex...) salgan de la costa bajo la acción del oleaje (en ausencia de viento y corrientes). Este resultado experimental estaría en línea con otros estudios que sugieren largas tasas de acumulación de plásticos en las playas (Lebreton et al., 2019; Olivelli et al., 2020). Sin embargo otros procesos a tener en cuenta, como la presencia de corrientes y viento (no considerados en este estudio), pueden afectar este resultado. De la misma manera, se han obtenido medidas experimentales utilizando partículas relativamente grandes en comparación a la longitud de la ola. En situaciones naturales, partículas más pequeñas como microplásticos pueden moverse verticalmente en la columna de agua dando lugar a diferentes velocidades en función de la posición de los microplásticos en la columna de agua (Grue & Koolas, 2017). De hecho Isobe et al. (2014) analizando medidas de acumulación en playas de Japón sugieren que las partículas flotantes de mayor tamaño tienden a permanecer en aguas costeras mientras que las partículas de menor tamaño tienden a moverse hacia mar adentro.

Por el contrario las partículas no flotantes con una mayor densidad que el agua y una velocidad de caída hacia el fondo se mueven rápidamente hacia el fondo y una vez allí se mueven con una velocidad media inducida por el oleaje menor que las velocidades encontradas para las partículas flotantes. Se observa además que la velocidad media de las partículas no flotantes decrece con el peralte del oleaje (decrece con el periodo). Finalmente, es importante señalar que todas las partículas flotantes se mueven con una velocidad parecida descrita teóricamente e independiente de su masa y densidad (siempre que estén flotando en la superficie). Sin embargo, no es posible describir el movimiento de las partículas no flotantes con una sola formulación que no incorpore la masa y densidad mostrando que la masa y densidad de las partículas sí afecta al movimiento de las partículas no flotantes.

Agradecimientos

El presente estudio ha sido financiado con fondos del European Research Council (ERC) financiado por el programa de investigación e innovación de la Unión Europea Horizon 2020. José M Alsina es profesor lector gracias al programa Serra Hunter 2019. Agradecemos la colaboración del personal del Laboratorio de Ingeniería Marítima (LIM-UPC).

Referencias

- ALSINA, J. M.; JONGEDIJK, C. E.; & VAN SEBILLE, E. (2020). Laboratory measurements of the wave-induced motion of plastic particles: Influence of wave period, plastic size and plastic density. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2020JC016294. <https://doi.org/10.1029/2020JC016294>
- FRASER, C. I.; MORRISON, A. K.; HOGG, A. M.; MACAYA, E. C.; VAN SEBILLE, E.; RYAN, P. G. et al. (2018). Antarctic ecological isolation will be broken by storm driven dispersal and warming. *Nature Climate Change*, 8, 17. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0209-7>

- GRUE, J.; & KOOLAS, J. (2017). Experimental particle paths and drift velocity in steep waves at finite water depth. *Journal of Fluid Mechanics*, 810, R1. <https://doi.org/10.1017/jfm.2016.726>
- ISOBE, A.; KUBO, K.; TAMURA, Y.; KAKO, S.; NAKASHIMA, E.; & FUJII, N. (2014). Selective transport of microplastics and mesoplastics by drifting in coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 89, 324-330. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.09.041>
- JAMBECK, J. R.; GEYER, R.; WILCOX, C.; SIEGLER, T. R.; PERRYMAN, M.; ANDRADY, A.; NARAYAN, R.; & LAW, K. L. (2015). Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean. *Science*, 347(6223), 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- KREIZER, M.; RATNER, D.; & LIBERZON, A. (2010). Real-time image processing for particle tracking velocimetry. *Experiments in Fluids*, 48(1), 105-110. <https://doi.org/10.1007/s00348-009-0715-5>
- LEBRETON, L.; EGGER, M.; & SLAT, B. (2019). A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean. *Scientific Reports*, 9, 12922. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49413-5>
- LENAIN, L.; PIZZO, N.; & MELVILLE, K. (2019). Laboratory studies of Lagrangian transport by breaking surface waves. *Journal of Fluid Mechanics*, 876, R1. <https://doi.org/10.1017/jfm.2019.544>
- LONGUET-HIGGINS, M. S. (1953). Mass transport in water waves. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London - A*, 245, 535-581. <https://doi.org/10.1098/rsta.1953.0006>
- OLIVELLI, A.; HARDESTY, D.; and WILCOX, C. (2020). Coastal margins and backshores represent a major sink for marine debris: Insights from a continental-scale analysis. *Environmental Research Letter*. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7836>
- RYAN, P. G.; MOORE, C. J.; VAN FRANEKER, J. A.; and MOLONEY, C. L. (2009). Monitoring the Abundance of Plastic Debris in the Marine Environment. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*; 364 (1526), 1999-2012. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207>
- SANTAMARIA, F.; BOFFETTA, G.; AFONSO, M. M.; MAZZINO, A.; ONORATO, M.; & PUGLIESE, D. (2013). Stokes drift for inertial particles transported by water waves. *Europhysics Letters*, 102, 14003. <https://doi.org/10.1209/0295-5075/102/14003>
- STOKES, G. G. (1847). On the theory of oscillatory waves. *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, 8, 441455.
- VAN DEN BREMER, T. S.; & BREIVIK, Ø. (2017). Stokes drift. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London - A*, 376. <https://doi.org/10.1098/rsta.2017.0104>

- VAN SEBILLE, E.; ALIANI, S.; LAW, K. L.; MAXIMENKO, N.; ALSINA, J. M.; BAGAEV, A. et al. (2020). The physical oceanography of the transport of floating marine debris. *Environmental Research Letters*, 15, 023003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d7d>
- WILLNEFF, J. (2003). A spatio-temporal matching algorithm for 3D Particle tracking velocimetry. PhD thesis. *Swiss Federal Institute of Technology Zurich*, Diss. ETHNo.15276, 129.

L'aparició de la COVID-19 ha accelerat els canvis en recerca i docència que l'actual Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (DEGD) de la Universitat Politècnica de Catalunya ha implementat en el darrer bienni. Les millores de les tècniques d'aprenentatge han permès aproximar-se una mica més a l'excel·lència docent en Grau, Màster i Doctorat, complint amb el nostre encàrrec de qualitat i adaptant la instrucció a les necessitats actuals de la societat.

Les àrees de recerca del centenar llarg de professors que formen el DEGD són àmplies i variades, àdhuc tenen l'avantatge que estan en permanent col·laboració amb grups d'investigació, tant de la pròpia UPC com d'altres universitats.

La incorporació de nous investigadors fruit de les darreres convocatòries internacionals, ha permès incrementar i diversificar la massa crítica d'expertesa del departament.

En aquest llibre trobareu una mostra significativa de la recerca avançada, pluridisciplinària, multivariable i heterogènia de la investigació i innovació com a eines de coneixement del DEGD, implicats en un territori dilatat, repartits als diferents campus de la UPC.

En síntesi, un bon recull de coneixements transversals, innovadors i amb un ampli recorregut, tant en el món acadèmic com en la seva vessant empresarial.

Editors:

Jose Luis Lapaz Castillo

Oscar Farrerons Vidal

Noelia Olmedo Torre



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Departament d'Enginyeria Gràfica
i de Disseny



OmniaScience
Monographs

ISBN 978-84-122028-8-5



9 788412 202885 >