

Quan la matèria duu a la forma: el disseny guiat pel material i la sostenibilitat

En aquest article s'argumenta que el procés d'un disseny tradicional basat en la forma duu a una manca de coneixement dels materials i, com a conseqüència, crea una barrera d'ignorància entre el dissenyador i el producte. Una barrera que no només actua contra la implementació dels denominats materials avançats i les noves tecnologies, sinó que també acaba convertint-se en un gran obstacle per a la creació de productes fabricats de forma industrialment sostenible. Està sorgint un nou tipus de disseny en què el material es té en compte des del principi i fins i tot es pot considerar l'impulsor de tot el procés. Aquest procés de disseny guiat pel material (MDD, Material Driven Design) trenca l'esmentada barrera d'ignorància i ha demostrat el seu potencial a l'hora de fer possible un disseny per a la sostenibilitat. Malgrat això, el fet de començar pels materials no és suficient per garantir que el resultat sigui sostenible.

Per això, l'objectiu general de la investigació que motiva aquest article és definir les particularitats d'un disseny per a la sostenibilitat guiat pel material, amb la finalitat de valorar fins a quin punt és possible dissenyar un procés que garanteixi uns resultats compatibles amb l'economia circular. La investigació es basa en la d'un disseny constructiu, amb un enfocament predominant de laboratori i amb elements d'un àmbit en què s'imagina una nova realitat que es construeix per a provar si funciona o no. Es van dur a terme cinc assajos de disseny en què el procés de disseny guiat pel material es va posar a prova contínuament, es va avaluar i es va rectificar per mitjà de la reflexió en acció. En total, el procés es va posar a prova cent divuit vegades i ho van fer estudiants amb la implicació de professionals del disseny i d'especialistes de quatre empreses i institucions diferents. En aquest article es presenta el dilema de la relació entre forma i matèria en els processos del disseny contemporani oficial i s'especifica l'àmbit interdisciplinari en què se situa el disseny per a la sostenibilitat guiat pel material. Es descriuen el concepte i la metodologia d'un "assaig de disseny" com a mètode i els avenços del procés durant els cinc assajos. Per acabar, s'estableix pas a pas el procés del disseny per a la sostenibilitat guiat pel material, inclosos els enfocaments pertinents per a l'experimentació. En aquest article es presenta un procés de disseny que crea productes que, quan arriben al final de la seva vida,

M. BAK-ANDERSEN

11

METTE BAK-ANDERSEN
Copenhagen School of Design and Technology
Royal Danish Academy of Fine Arts, School of Design

PARAULES CLAU
Disseny guiat pel material, disseny per a la sostenibilitat, procés de disseny, disseny de producte, economia circular, educació sobre el disseny.

COM CITAR
Bak-Andersen, Mette. 2018. "Quan la matèria duu a la forma: el disseny guiat pel material i la sostenibilitat" [When matter leads to form: Material-driven design for sustainability]. *Temes de disseny* 34: 10-31.

TEMES DE DISSENY #34

ARTICLE ORIGINAL

10

són compatibles amb l'economia circular. El procés no s'ha d'utilitzar necessàriament com a procés de disseny autònom, sinó que es pot combinar amb altres processos, i ha assolit un punt en què està prou desenvolupat per provar-lo en un context industrial.

1 INTRODUCCIÓ

Si tenim en compte que tots els materials de fabricació humana que ens envolten estan elaborats amb elements que hi ha de forma natural al nostre planeta, pot semblar paradoxal que utilitzar aquests mateixos elements per materialitzar i construir la nostra civilització pugui acabar sent nociu per al medi ambient de què procedeixen. I tanmateix, resulta evident que hem de canviar la nostra manera de fer les coses. Una estratègia per a la sostenibilitat que estan adoptant alguns governs i algunes institucions és l'economia circular (Government of the Netherlands 2018; Su et al. 2013, 215-227; European Union 2018). Es tracta d'un sistema tancat d'ús dels materials en bucle que abasta tot allò que està elaborat per mans humanes (Pearce i Turner 1990; Ellen Mac Arthur Foundation 2018). Desenvolupar la capacitat de dissenyar per a un sistema en què un producte hagi de ser reciclat o biodegradat al final de la seva vida exigeix un profund coneixement de la composició i la compatibilitat dels materials. La manca de coneixement sobre els materials, efectivament, crea una barrera d'ignorància entre el dissenyador i el producte. Una barrera que no només actua contra la implementació de materials avançats i noves tecnologies, sinó que a més es converteix en un gran obstacle per a la creació de productes sostenibles.

Durant les tres últimes dècades han anat sorgint variacions d'un procés de disseny centrat en els materials, ideades per investigadors i professionals del disseny: un procés en què el material ja té un paper fonamental des del mateix començament. La majoria dels investigadors que hi estan implicats el descriuen com a *basat en el material* o *guiat pel material* (Karana et al. 2015, 35-54; Van Bezooyen 2013, 277-286; Hansen 2010; Oxman 2010) (aquest últim és el terme utilitzat per descriure la investigació en aquest article). La principal diferència entre el procés de disseny guiats pel material i els processos més convencionals del disseny contemporani rau en el fet que en el primer el dissenyador té una funció activa des del principi a l'hora de dissenyar, desenvolupar o manipular el material que s'està utilitzant per al disseny, en lloc de limitar-se a seleccionar-ne un que s'adapti a la forma un cop conclòs el procés de disseny. Ja existeixen diversos processos de disseny concebuts tenint en compte la sostenibilitat (Ceschin y Gaziulusoy 2016, 118-163), però tendeixen a centrar-se en un tipus de pensament sistemàtic (de manera que no tenen directrius específiques per dissenyar productes) o a personalitzar-se segons processos de disseny convencionals en què la selecció del material és un element secundari.

Aplicar un procés de disseny guiats pel material converteix el dissenyador en expert en un determinat ma-

terial (Karana et al. 2015, 35-54), amb el consegüent potencial d'oferir-li un coneixement essencial per dissenyar per a una economia circular. Tanmateix, tot i que la investigació publicada sobre els processos del disseny guiats pel material aporta valuosos arguments sobre els beneficis d'utilitzar-lo (com ara dissenyar per a unes experiències materials (Karana et al. 2015, 35-54), estimular la creativitat (Van Bezooyen 2013, 277-286) o ser més respectuós amb el medi ambient (Oxman 2010)), els resultats obtinguts no són per si mateixos sostenibles ni compatibles amb una economia circular. Per fer realitat el potencial del disseny guiats pel material com a procés de disseny per a la sostenibilitat que es tradueixi en uns productes compatibles amb l'economia circular, cal tenir en compte determinades accions i consideracions durant el procés de disseny. L'objecte de la meua investigació és definir aquest procés; posar a prova el disseny guiats pel material com a procés de disseny per a la sostenibilitat i la seva potencial aportació a un canvi sistemàtic a favor d'una economia circular.

En aquest article es presenta el dilema de la relació entre forma i matèria en els processos del disseny contemporani oficial, així com els fonaments del disseny guiats pel material (apartat 2). Es presenta la metodologia de la investigació que duu al desenvolupament del procés (apartat 3), seguida dels resultats i la discussió: una especificació de l'àmbit interdisciplinari en què se situa el disseny per a la sostenibilitat guiats pel material, exemples procedents de la investigació i la pràctica (apartat 4) i, per acabar, un procés de disseny per a la sostenibilitat guiats pel material, pas a pas, inclosos enfocaments pertinents per a l'exploració de materials (apartat 5). Tot això se sintetitza en una discussió sobre limitacions i requisits previs (apartat 6) seguida de les conclusions (apartat 7).

2 ELS FONAMENTS DEL DISSENY GUIAT PEL MATERIAL

Per entendre el potencial d'utilitzar el disseny guiats pel material com a procés de disseny per a la sostenibilitat cal entendre els principis subjacents d'aquest tipus de disseny en general i, sens dubte, en què es diferencia del procés de disseny centrat en la forma, que actualment és l'oficial. Tot i que les descripcions del disseny guiats pel material varien en la literatura, sembla que hi ha cert consens a l'hora d'entendre'l com un procés en què no es prioritza la forma sobre la matèria i en què el material no és un element que s'introdueix senzillament per adaptar-lo a una forma, sinó que es defineix realment (igual que al diccionari) com a: "matèria de la qual està feta o amb què es pot fer una cosa

(OED 2017)". El disseny guiats pel material és un procés de disseny que s'inicia amb l'exploració del material o en què es dissenya, es genera o es desenvolupa un material com a part del mateix procés que en determina la forma.

2.1 El dilema de la selecció del material

Els processos del disseny contemporani oficial inclouen diferents enfocaments i estratègies per arribar al producte acabat a partir d'una idea inicial, però rarament qüestionen la funció del dissenyador com a creador d'una forma i la del material com a element que se selecciona i s'adapta a aquesta forma. A diversos llibres, articles i projectes d'investigació publicats es tracta la importància crucial de seleccionar els materials adequats (Ashby y Johnson 2003, 24-35; Karana, Hekkert, y Kandachar 2010, 2932-2941; Van Kesteren, Stappers, y De Bruijn 2007). De la mateixa manera, hi ha unes quantes eines digitals que ajuden el dissenyador a triar el seu material (Ramalhete, Senos, y Aguiar 2010, 2275-2287). Si bé aquestes inclouen gairebé tots els criteris i les característiques possibles, com ara l'exhaustiu Cambridge Engineering Selector (CES), i la possibilitat de centrar-se o no en els costos, el rendiment o l'impacte mediambiental, generalment comparteixen un mateix tret: predominantment serveixen de suport al dissenyador com a creador de la forma, mentre que el material és un element seleccionat més tard per ajustar-s'hi. Fins i tot les més extenses biblioteques de materials, com ara Material Connexion (Material Connexion 2018), Materia (Materia 2018) o MaterFad (Materfad 2018), generalment estan configurades per ajudar el dissenyador en un procés en què la forma és el principal i el material és secundari. Exhibeixen una gran varietat de nous i fascinants

materials, però solen ser materials acabats i comercialment disponibles, que esperen ser triats per a un disseny.

Aquest conjunt de literatura, investigació, eines i col·leccions de materials representa un coneixement molt valuós sobre tecnologia de materials, però en el context del disseny per a una economia circular el fet que el material només aparegui en el procés de disseny com una cosa acabada que se selecciona al final és un inconvenient.

En gran manera, el material es pot considerar l'ADN d'un producte. És allò que defineix tant les seves propietats tàctils com les tècniques i decideix d'una manera important el mètode de producció. El que determina les futures opcions de reciclatge i/o biodegradabilitat d'un producte és el seu material o la seva combinació de materials. Així, si el material no participa en el diàleg sobre forma i funció en l'origen del procés serà difícil que el dissenyador prengui decisions adequades; i no només en termes de sostenibilitat. Deixar el material per al final del procés, o fins i tot a mans de tercers, crea una barrera d'ignorància entre el dissenyador i el producte final.

El dissenyador que no entén els materials d'un producte o no sap com treballar-hi, en molts sentits, està tan mal preparat com el xef que desconeix els ingredients del plat que està cuinant. Qualitats com la innovació i la sostenibilitat no són additius que es puguin injectar a un producte en l'últim minut, i això vol dir que si un producte no es dissenya originalment per complir aquests criteris difícilment ho farà. Al seu torn, si els materials han de ser un element central en el procés de disseny, la complexitat i la quantitat actual de materials plantegen la qüestió de com afecten l'àmbit del disseny i el nucli del procés de disseny. Aquesta qüestió es tracta als apartats 4 i 5.



Fig 1. Mostres d'explotació d'un material de roba de pantalons texans per al qual resulta difícil aconseguir la circularitat, ja que el teixit és una barreja de fibres naturals i sintètiques (cotó i elastà). (D'un experiment de disseny guiats pel material previ a l'assaig el 2014).



Fig 2. Imatge del procés i del producte final. Aquest participant va treballar amb fusta processada en forma de fibres i encenalls i barrejada amb cautxú natural. Els materials creats mostren excel·lents propietats i van rebre comentaris molt positius per part dels dissenyadors de les empreses col·laboradores. Malgrat això, caldria desenvolupar-los més a fons perquè fossin prou resistents per a unes sabates. A més, a causa d'aquesta aparent incompatibilitat entre el material i la funcionalitat del producte, d'alguna manera, la sabata redueix la percepció de valor del material. (Assaig 4)

3

METODOLOGIA

La investigació que va conduir als resultats presentats en aquest article es basa principalment en mètodes qualitius. Es va dur a terme com una “investigació a través del disseny” (Frayling 1993) o, per ser més exactes, una “investigació de disseny constructiu” (constructive design research) amb un enfocament predominant de laboratori i elements de camp (Koskinen et al. 2011). L'objecte de la investigació era crear un procés de disseny compatible amb una economia circular. Això fa del procés de disseny objecte de la investigació, de manera que aquest procés, metodològicament en el context de la investigació, es pot estendre com un prototip d'investigació. El procés ha evolucionat durant més de 10 anys. Al principi, en la meua pràctica del disseny, amb l'experimentació en què el disseny, segons la definició de Simon, s'utilitzava per canviar una situació existent per una de preferida (Simon 1988, 67-82), i després, des del 2015, indagant sistemàticament per mitjà de la investigació del disseny constructiu per imaginar una nova realitat i construir-la amb la finalitat de comprovar si funcionava (Koskinen et al. 2011).

El disseny per a la sostenibilitat és increïblement complex i, per això, “malvat” (Rittel y Webber 1973, 155-169) i complicat a parts iguals. Schön descriu aquesta situació com una planícia pantanosa i argumenta que només si ens concentrem en els problemes relativament insignificants des dels terrenys més elevats i sòlids que miren cap a la planícia és possible mantenir el racionalisme tècnic. Tanmateix, els problemes que més preocupen la humanitat (en aquest cas, la sostenibilitat) es troben a la planícia pantanosa i exigeixen un tipus d'investigació que no és susceptible de mètodes quantificables, sinó que requereix el que ell defineix com a reflexió en acció (Schön 2017). Això afecta tant els mètodes com el disseny de la investigació.

3.1 Disseny de la investigació

Aquesta investigació es presenta com una investigació exemplar sobre el disseny guiada per programes i experiments. El programa es pot entendre com una estructura que fa de marc i de fonaments per a una sèrie d'experiments i d'intervencions al voltant del disseny. Binder i Redström defineixen "exemplar" com allò que permet "la difusió crítica per mitjà d'exemples del que es podria fer i com, és a dir, exemples que expressen tant les possibilitats del programa de disseny com suggeriments més generals sobre (un canvi en) la pràctica del disseny" (Binder i Redström 2006). La dialèctica entre experiments i programa està ben descrita (Brandt et al. 2011; Redström 2017). En aquesta investigació, l'experimentació va dominar inicialment i va informar el programa, però al final el programa va passar al davant (vegeu la taula 2 al final de l'article, A17 i B17).

El disseny de la investigació es va centrar en cinc assajos de disseny, cadascun format per una sèrie d'experiments, en què es provava un procés de disseny que pogués servir de procés de disseny per a la sostenibilitat guiat pel material. Schön escriu sobre la investigació reflexiva i la reflexió en acció com una manera de reflexionar sobre les troballes i de decidir quines han de ser les accions següents (Schön 2017). El treball que s'exposa aquí també es pot interpretar en aquests termes i més endavant es descriurà més detalladament.

3.2 Els assajos de disseny

Un assaig és “una prova, normalment durant un termini de temps determinat, per descobrir l'eficàcia o l'adequació d'alguna cosa o d'algú” (OED 2017). L'“assaig de disseny” creat com a mètode per al projecte d'aquesta investigació, d'alguna manera, és comparable a un assaig científic en el sentit que incorpora indagació, observació i avaluació sistemàtiques. Tanmateix, admet un enfocament per a cada dissenyador (Cross 2006) i accepta troballes que ni es preveuen ni són quantificables. Això explica el terme assaig de disseny. Cada assaig de disseny consta d'una sèrie d'experiments i, fins a

Número d'assaig	1	2	3	4	5
Any / durada	2015 / 3,5 setmanes	2015 / 4,5 setmanes	2016 / 3,5 setmanes	2016 / 4 setmanes	2017 - 18 / 7 setmanes
Participants	24 estudiants de disseny mixt, 5è semestre	26 estudiants de disseny de moda, 6è semestre	23 estudiants de disseny mixt, 5è semestre	24 estudiants de disseny de moda, 6è semestre	21 estudiants de disseny mixt, 5è semestre
Socis col·laboradors		Nike Inc.	Biomimicry Institute i Institut Tecnològic Danès	Nike Inc.	Aeropowder Ltd i Institut Tecnològic Danès
Críteris per a les matèries primeres utilitzades	Havien de ser gratuïtes i s'havien d'haver obtingut localment	Cap restricció	Es van proporcionar 5 materials	Materials residuals de biomassa gratuïts o de poc valor	Es van proporcionar 5 materials
Materials utilitzats	Cabells humans, pell de peix, LDPE (de bosses de plàstic), algues, miceli, pòsit de cafè, serradures, peles de patata, texans vells, palla de teulada utilitzada.	Retalls de cuir, teixit de polièster reciclat, bambú, teixit de llana, cotó orgànic.	Fibres de cànem, polpa de poma (subproducte de la producció de sidra de poma i de suc de poma), palla de teulada utilitzada, llana d'ovelles de carn, closques d'ou.	Niló reciclat de residus oceànics, fibres i encenalls de fusta, pell de serp obtinguda artificialment (concepte), pell de peix, retalls de cuir, llet de rebuig, fibres de cànem, llana d'ovelles de carn, retalls de teixit de llana.	Plomes de pollastre, algues, fibres de cànem, llana d'ovelles de carn, polpa de bleda-rave sucrera (subproducte de la producció de sucre).

Taula 1. Visió general dels cinc assajos de disseny.

cert punt, es pot equiparar a una experimentació de disseny en sèrie (Krogh, Markussen, i Bang 2015, 39-50), encara que els experiments tendeixen a ser avaluats individualment i consecutiva, i no estan concebuts per provar l'adequació d'alguna cosa en un context específic. L'assaig de disseny va ser un mètode per provar el procés en acció.

La versió primerenca d'un procés de disseny per a la sostenibilitat guiat pel material que es va provar a l'assaig 1 es basava en anteriors assajos de disseny basats en la pràctica. En aquesta etapa, el procés era relativament poc sistemàtic i en la seva major part se centrava a analitzar els valors del material en termes d'experiència. Els resultats sovint van ser creatius i generats amb materials inusuals. Tanmateix, eren sobretot artístics i, per això, no sempre resultaven funcionals ni compatibles amb una economia circular (s'il·lustren a la figura 1). L'únic marc explícit per a l'assaig 1 va ser una restricció en les matèries primeres: s'havien d'obtenir gratuïtament i local. Posteriorment, les accions i preguntes específiques per a cada assaig successiu han constituït una nova sèrie de respostes estructurades sobre les troballes i reflexions dels assajos previs. A les taules 1 i 2 es presenta una visió general d'aquests avenços. L'execució dels cinc assajos va tenir lloc al Laboratori de Disseny de Materials de l'Escola de Disseny i Tecnologia de Copenhaguen, un espai concebut per provar, explorar i dissenyar materials. Les dades es van recollir principalment a partir de l'avaluació dels resultats (els productes creats) però també, en bona mesura, per mitjà de l'observació i conversant amb els participants i els socis col·laboradors del sector. La documentació es va elaborar a partir de textos i fotografies, però també amb mostres de materials i prototips creats durant el procés. A la taula 1 s'ofereix una visió general dels assajos presentats. A la taula 2 es mostra l'avenç del procés del disseny per a la sostenibilitat guiat pel material per mitjà d'un mètode d'investigació i anàlisi basat en la reflexió en acció (reflection-in-action) (Schön 2017).

3.3 L'avaluació

L'avaluació se centra en els productes creats en proves del procés, perquè els productes són els principals indicadors que en reflecteixen la idoneïtat. Els criteris específics per a l'avaluació van evolucionar simultàniament al desenvolupament del procés (vegeu la taula 2). Els aspectes següents es consideren obligatoris per a l'avaluació, però, segons l'enfocament de l'especificació en qüestió i del tipus de projecte per al qual s'utilitzi el procés, es pot donar més importància a diferents assajos. L'avaluació comença centrant l'interès en la matèria primera utilitzada, que ha de quedar definida per una o més d'una de les característiques següents:

1. Totalment biodegradable
2. Totalment reciclable
3. Material residual per reciclar
4. Renovable
5. Compostable
6. Recurs abundant (s'ha de combinar com a mínim amb l'element 1 o amb el 2).

7. Producció socialment responsable (s'ha de combinar com a mínim amb l'element 1 o amb el 2).

A l'hora d'avaluar el producte final, el més important és la circularitat del material, d'aquí que el producte hagi de ser:

1. Totalment biodegradable
2. Totalment reciclable
3. Dissenyat perquè es pugui desmuntar (en components que siguin compatibles amb l'element 1 i el 2).

En l'avaluació del producte final també es tenen en compte aspectes addicionals com ara la toxicitat, la durabilitat, el pes, l'estètica, el significat i la petjada de carboni. Alguns criteris d'avaluació són quantificables. Així, per exemple, és possible mesurar quant de temps tarda alguna cosa a biodegradar-se. Tanmateix, la sostenibilitat sempre és relativa al context, de manera que l'objectiu principal del material és que serveixi per a la funció del producte. Això comporta que



Fig 3. Un participant presentant el seu producte final, una sabata elaborada amb retalls de cuir, als dissenyadors professionals de l'empresa col·laboradora, Nike. (Assaig 2)

en alguns casos es considerés una qualitat que el procés de biodegradació del material fos ràpid, mentre que en altres, quan un producte es dissenya per durar uns quants anys, serà important que el material sigui durador i la seva biodegradació sigui molt lenta. D'una manera similar, el pes pot ser un problema per a la sostenibilitat quan és necessari un transport de llarga distància, però pot ser una característica positiva per a la funcionalitat del producte. Una petjada de carboni duradora pot ser més acceptable per a una cullera d'acer inoxidable, que ha de durar tota una vida, que per a una cullera de midó de blat de moro biodegradable que s'utilitzarà durant menys d'una hora i, després, es llençarà. La importància de la relació entre material i funció s'il·lustra a la figura 2.

Els aspectes que poden ser difícils de mesurar, però que són de gran importància per a la sostenibilitat, són el significat i l'estètica. Un material pot tenir excel·lents propietats tècniques i puntuar alt a tots els altres paràmetres de sostenibilitat, però no ser acceptable per als usuaris perquè té connotacions que els resulten ofensives. Un exemple d'això són els productes elaborats amb cabells humans a l'assaig número u (vegeu la taula 1). En canvi, quan l'usuari considera que un producte és estèticament atractiu o percep els seus materials com a valuosos, aleshores hi establirà un vincle emocional que n'assegurarà la cura i la durabilitat (Harper 2015).

Dissenyadors professionals de l'empresa col·laboradora van participar en l'avaluació dels assajos 2 i 4, que es van concebre per provar el procés amb una especificació concreta (vegeu la figura 3). A l'apartat següent es presenten un mapa de l'àmbit i el procés del disseny per a la sostenibilitat guiat pel material. Tots dos es basen en els fonaments teòrics presentats a l'apartat 2 i en les troballes dels cinc assajos de disseny presentats a l'apartat 3.2.

4

DISSENY PER A LA SOSTENIBILITAT GUIAT PEL MATERIAL: L'ÀMBIT

En el disseny per a la sostenibilitat guiat pel material, la creació i la manipulació del material són fonamentals. Encara que diferents especialistes puguin contribuir a aquesta part del procés, el seu responsable principal és el dissenyador. Es podria argüir que aquesta tasca és pròpia d'un expert en ciència de materials, però algunes investigacions indiquen

que el desenvolupament de nous materials no es limita a investigacions altament científiques amb especificació prèvia dels resultats. Els científics de materials més influents indicaven que seria ideal que la investigació de materials fos interdisciplinària. En trobem un exemple en la investigació i el treball del científic de materials Mark Miodownik. Tant a l'Institute of Making (University College London 2018), del qual és director, com a la seva investigació, treballa en el desenvolupament de les propietats físiques i estètiques dels materials i recupera el que ell percep com una col·laboració mútuament gratificant entre l'art i la ciència (Miodownik 2003, 36-42; Miodownik 2005, 506-508; Miodownik 2007, 1635-1641). Trobem idees similars en la investigació de Cyril Smith sobre la històrica interacció entre ciència, art i tecnologia. Ell ha documentat com l'interès de la indústria de l'art va accelerar durant segles el coneixement científic i va impulsar el desenvolupament tecnològic. Un argument important és que la classificació d'una activitat com a ciència, tecnologia o art és relativament recent (Smith 1970, 493-549). D'una manera similar, el científic de materials Mike Ashby i la dissenyadora Kara Johnson destaquen el potencial que s'obre quan els principis de la ciència de materials i de la tecnologia es fusionen amb altres especialitats com ara l'enginyeria, la química, la biotecnologia i la ciència de la informació (Ashby i Johnson 2003, 24-35).

Tenint això en compte, un procés de disseny guiat pel material es pot considerar inherentment interdisciplinari, i això afecta el seu àmbit, tant en termes de constitució com de mètode. A partir de la base teòrica presentada en aquest apartat i de les troballes dels assajos, l'àmbit del disseny per a la sostenibilitat guiat pel material es pot descriure com un àmbit interdisciplinari que, idealment, implica l'art, la tecnologia i les ciències naturals (figura 4). L'art aporta qualitats com ara l'estètica, la forma, els valors experimentals i la sensació tàctil. La tecnologia ofereix eines, tècniques i un fort vincle amb la producció industrial, mentre que les ciències naturals aporten la composició del mateix material i tenen moltes respostes quan es tracta de resoldre la compatibilitat amb una economia circular i els canvis tecnològics. Tal com es pot observar en els exemples de l'apartat següent, alguns professionals i investigadors d'aquest àmbit se situen a si mateixos al centre, amb una equilibrada representació de l'art, la tecnologia i les ciències naturals. Altres mantenen un fort vincle amb un o dos components però no tenen aquest equilibri. (Vegeu els números 1, 2, 3,... a la figura 4.)

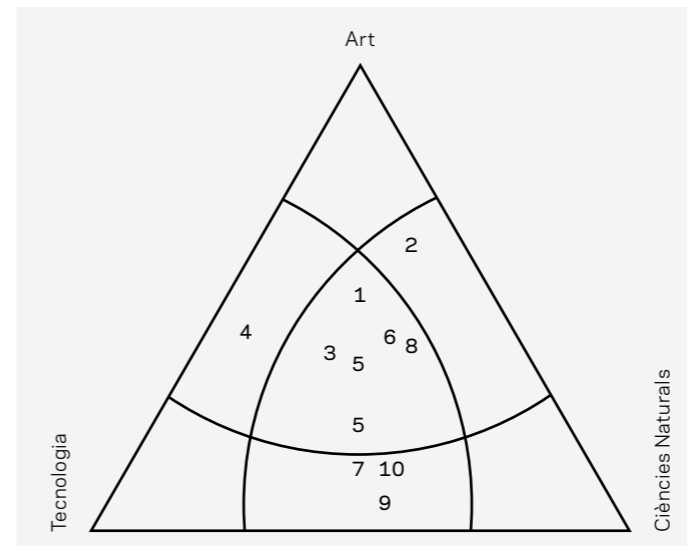


Fig 4. L'àmbit interdisciplinari del disseny per a la sostenibilitat guiat pel material implica l'art, les ciències naturals i la tecnologia. Els números indiquen la col·locació dels diferents exemples de disseny guiat pel material de l'apartat 4.1.

4.1 Exemples de la investigació i la pràctica

En aquest àmbit estan treballant tant investigadors com dissenyadors. Tots els exemples següents es poden considerar disseny guiat pel material amb l'objectiu de crear un resultat sostenible, encara que el seu creador no els defineixi necessàriament de forma explícita com a disseny guiat pel material.

El treball de la dissenyadora de moda Suzanne Lee demostra que el disseny pot incloure disciplines com ara la ciència, ja que estudia l'ús de cultius vius de microorganismes com el llevat i els bacteris per transformar materials biològics com la cel·lulosa en materials compostables sostenibles i en productes per a la moda (Lee 2018) (posició 1, figura 4). D'una manera similar, però més artística, la dissenyadora Carole Collet explora la fusió entre biologia i disseny en el que denomina biofabricació (biofacturing) (Collet 2012) (posició 2, figura 4). Tanmateix, el projecte és principalment conceptual, de manera que està mancat del component tecnològic. Com a conseqüència, no se situa al centre.

El premi de disseny holandès New Materials Award (Het Nieuwe Instituut, Fonds Kwadraat, i Stichting doen 2018) es presenta com "l'avantguarda de la ciència, el disseny, l'art i la tecnologia". El seu objectiu és desafiar els participants a pensar més enllà de la seva pròpia disciplina a l'hora d'aplicar nous materials i de buscar solucions sostenibles per al futur. Molts dels projectes nominats es poden descriure com a disseny per a la sostenibilitat guiat pel material. Un bon exemple n'és la cadira miceli d'Eric Klarenbeek, produïda amb impressora 3D. La seva matèria primera de base són residus vegetals i miceli utilitzat com a "goma d'enganxar viva" (Klarenbeek 2018) (posició 3, figura 4). Una artista que està utilitzant la impressió 3D en un procés de disseny guiat pel material és l'arquitecta Neri Oxman. A la seva tesi "Material Based Design Computation" descriu el seu procés com una forma natural de dissenyar i construir, un procés en què el material sempre és anterior a la forma. Destaca que les primeres formes d'artesanía i algunes de les innovacions més recents en ciència i enginyeria de materials apliquen un enfocament basat en el material en què aquest

té la funció de ser la substància de la forma, i no tant el seu progenitor (Oxman 2010). Com que parteix de la investigació sobre materials i del biomimetisme, el seu ús dels materials en els primers projectes semblava definit sobretot pels límits de la fabricació digital. Un exemple d'això podria ser el projecte "Pneuma", inspirat per animals filoporífers com les esponges (Oxman 2018) (posició 4, figura 4). L'esponja serveix d'inspiració estructural i mecànica, però el material utilitzat per a la fabricació no hi està relacionat. Així doncs, a manca del component de les ciències naturals, no se situa al centre. Tanmateix, Oxman ha començat a dissenyar materials i a modificar les impressores perquè s'hi adaptin. Un exemple n'és la impressora 3D que ha construït amb el seu equip per adequar-la a la pasta de quitina elaborada amb grans quantitats de petxines de crustacis (Mogas-Soldevila 2015) (posició 5, figura 4). La producció digital pot afegir un grau més alt de complexitat i de detall al producte final, però el disseny per a la sostenibilitat guiat pel material no ha de ser necessàriament tan complex tecnològicament com el treball d'Oxman o Klarenbeek. Un bon exemple en són els dissenys de Maurizio Montalti (Montalti 2018) basats en miceli, obtingut simplement deixant que el material es generi en un motllo (punt 6, figura 4).

Algunes de les investigacions més innovadores sobre disseny i materials publicades en els últims anys no procedeixen del món del disseny, sinó de la biotecnologia. Es tracta de la investigació sobre creació de materials partint de la biologia sintètica i de la investigació sobre disseny de materials de la biologia (Weiner, Addadi, i Wagner 2000, 1-8). Són contextos en què la biotecnologia està entrant en l'àmbit del disseny i, en alguns casos, s'està apropant al disseny per a la sostenibilitat guiat pel material. Alguns exemples d'això són la seda de les abelles obtinguda sintèticament que van desenvolupar Tara Sutherland i el seu equip del CSIRO a Austràlia (Sutherland et al. 2010, 171-188) (posició 7, figura 4) i l'exposició "Grow Your Own - Life After Nature" en què es van presentar diversos assajos de dissenys començant per la implementació d'ADN en bacteris i la codificació del material per obtenir el producte final (Dublin Science Gallery 2017) (posició 8, figura 4). La Bio Academy o "How to grow almost Anything" ("Com generar gairebé qualsevol cosa") és un curs sobre biologia sintètica dirigit per George Church, professor de genètica a la facultat de medicina de Harvard (Church 2018). Aquest podria ser el trampolí cap a una versió molt avançada del disseny per a la sostenibilitat guiat pel material. Tanmateix, malgrat que el programa està adscrit a la comunitat FabLab, si més no per ara, està aparentment mancat del component d'art (posició 9, figura 4).

S'observen reflexions i enfocaments similars sobre els materials i el disseny a diversos laboratoris de "biohacking" com ara "Genspace", el biolaboratori comunitari de Nova York, on professionals de la biotecnologia i programadors comencen a treballar amb materials i disseny a un nivell molt avançat (Kean 2011, 1240-1241). La biotecnologia fa possible utilitzar sistemes i organismes vius i gairebé qualsevol font de biomassa per desenvolupar o produir productes. Això s'aplica àmpliament a l'agricultura, la producció d'aliments i la medicina. Com que s'utilitza per desenvolupar nous materials, podria tenir un gran potencial per fer prosperar l'àmbit del disseny guiat pel material. El valor de *joguinejar* amb el

disseny i els materials està ben descrit (Wilkinson i Petrich 2013; Rognoli et al. 2015, 692-702). L'activitat en alguns dels laboratoris de biofabricació i espais menys oficials es pot definir com jugar amb la biotecnologia per crear nous materials.

Tal com demostren aquests exemples, un cas ideal de disseny per a la sostenibilitat guiat pel material és aquell que assoleix l'equilibri entre art, tecnologia i ciències naturals. Quan l'art hi està excessivament representat, el resultat pot estar mancat de funcionalitat i usabilitat (per exemple, posició 2, figura 4), però quan l'art hi és absent, el resultat està mancat de valors sensorials, resulta insípid i difícil de dur a la pràctica (per exemple, posició 9, figura 4). Quan les ciències naturals hi predominen excessivament, el resultat tendeix a ser incompreensible per als dissenyadors i la indústria, difícilment aplicable a productes d'ús general. En canvi, quan aquestes hi estan absents, el resultat rarament és compatible amb una economia circular (per exemple, posició 4, figura 4). I quan hi impera la tecnologia, aleshores els productes –que poden arribar a ser molt complexos tecnològicament– es percebran com a insípids i mecànics. D'altra banda, en absència de la tecnologia, els resultats no solen ser aptes per a la producció industrial. Així, l'equilibri entre aquests tres àmbits és important en el disseny per a la sostenibilitat guiat pel material. Partint d'aquesta base, els fonaments teòrics presentats a l'apartat 2 i els resultats dels cinc assajos de disseny presentats a l'apartat 3, s'han desenvolupat els següents processos de disseny.

5

DISSENY PER A LA SOSTENIBILITAT GUIAT PEL MATERIAL: EL PROCÉS DE DISSENY

Karana et al. descriu com "amb el temps, el dissenyador que adopti l'enfocament del disseny guiat pel material (Material Driven Design, MDD: una forma de dissenyar per a experiències materials) podrà arribar a ser un expert en un material concret; sabrà com es comporta el material en diferents circumstàncies i com reacciona quan se'l sotmet a diferents tècniques de fabricació o processos de producció" (Karana et al. 2015, 35-54). Això es pot considerar un avantatge mutu per a un procés de disseny en què "el material ha estat tras-



Fig 5. Presentació de les matèries primeres als participants de l'assaig 3 (vegeu la taula 1 per a més detalls).

lladat del final del procés de disseny al primer pas d'aquest i en què, a través de l'exploració pràctica i l'elaboració de prototips amb el material, es generen i es concreten les idees" (Van Bezoooyen 2013, 277-286). Així, independentment de la motivació per utilitzar un determinat procés de disseny per a la sostenibilitat guiat pel material, i gairebé per definició, un procés de disseny com aquest, en què el material està present i s'explora des del principi, eliminarà la barrera de la ignorància que esmentàvem al principi d'aquest article. Malgrat tot, aquest tipus de procés no garantirà automàticament un resultat sostenible. Ni tan sols si és tan exhaustiu i ben definit com l'MDD de Karana et al.

Tal com es pot veure seguint el procés que va de D1 a D17 a la taula 2, calen accions explícites al llarg d'aquest per assegurar que el producte sigui compatible amb una economia circular. Els principals components del procés relacionats amb la sostenibilitat són la comprovació inicial de la circularitat (5.2.1), els requisits sobre la investigació de l'impacte social i mediambiental de la matèria primera, abans de decidir si aquesta la matèria primera és adequada per al procés (5.2.2), la investigació de la composició química (5.2.3), el disseny de la biodegradabilitat, el reciclatge i/o el desmuntatge en la manipulació del material (5.3.1) i altres qüestions més subjectives, com ara entendre el valor (5.2.5) i el significat cultural i històric d'una matèria primera (5.2.4), que no és quantificable, però sí molt important, ja que un producte elaborat amb una matèria primera percebuda com de poc valor o culturalment inacceptable podria comportar l'absència de connexió emocional de l'usuari, que afectaria la longevitat del producte (vegeu F9-F11, taula 2).

5.1 Variacions

El procés es pot utilitzar de diferents maneres i, en la majoria dels casos, és probable que els dissenyadors treballin amb una especificació concreta. En aquesta situació, la investigació, l'exploració i el disseny del material s'haurien de centrar en la funció que haurà de complir el producte final (vegeu la taula 2, B13). Utilitzar el procés amb una especificació de disseny concreta es va provar als assajos 2 i 4, amb la col·laboració de l'empresa Nike. A les figures 2, 3, 8 i 9 s'ofereixen exemples dels resultats d'aquesta variació del procés.

També és possible utilitzar el procés d'una manera més oberta i exploratòria en què les qualitats del material determinen en gran mesura tant la funció com la forma d'un producte adequat. Una variació que pot resultar pertinent quan l'objectiu és explorar el valor i l'ús de determinats materials. Es podria tractar de materials de rebuig com els provats als assajos 3 i 5 (vegeu les taules 2 B14-B16 i la figura 5), en què es van presentar cinc productes derivats locals específics com a matèria primera. Com a continuació d'ambdós assajos, l'Institut Tecnològic Danès va aportar suport tècnic addicional als estudiants que van voler continuar amb el seu material i el seu producte. Un exemple va ser el de Hannah Michaud (2018), de l'assaig 2 (figura 6). Utilitzar així el procés també podia servir per explorar altres tipus de materials, com ara noves matèries primeres produïdes en laboratoris. Als subapartats següents es presenta pas a pas el procés del disseny per a la sostenibilitat guiat pel material.



Fig 6. Hannah Michaud va ser una de les participants de l'assaig 2 i es proposava crear una empresa basada en els materials i productes que ella dissenyava. Inicialment topava amb la dificultat de la seva formació acadèmica com a dissenyadora de moda i insistia que el seu material s'havia d'utilitzar en productes de moda. Finalment, després de més d'un any, va acceptar que si canviava el seu enfocament per dirigir-lo al sector de l'embalatge el seu material guanyava moltíssim valor. L'any 2017, Michaud va rebre el premi danès "Ivækst" per la seva feina.

5.2 Primer pas: investigació en materials

Per mitjà de la investigació profunda i l'exploració pràctica es defineixen les característiques d'una matèria primera.

5.2.1 Comprovació de la circularitat

Des del principi és essencial identificar si la matèria primera que es té a mà és adequada per al procés. Cal que el material sigui biodegradable i/o totalment reciclable. A més, no ha de contenir toxines procedents de cicles de vida anteriors.

5.2.2 Fonts

La investigació de materials requereix estudiar-ne les fonts: si s'extrau d'excavacions, es cultiva o es produeix, i qui ho fa. Aquesta informació és essencial per decidir si el material és adequat o no per al procés, des d'un punt de vista ètic, social i mediambiental. Per motius pràctics, també cal estudiar-ne el proveïment, especialment si la seva disponibilitat és estacionària. Estudiar-ne l'ús present ajudarà a entendre quin potencial pot tenir en el futur. Sovint això comporta fixar-se en altres sectors, com ara l'agricultura o les indústries alimentària i mèdica. En el cas de nous materials o de nova tecnologia de materials, la informació pertinent es podria trobar només en fase d'investigació, de manera que caldria buscar altres dades en publicacions científiques alienes a l'àmbit del disseny.

5.2.3 Composició

Una part de l'exploració inicial ha de consistir en un examen més científic, per conèixer els fonaments de la composició del material i la seva compatibilitat circular amb altres materials. És necessari estudiar-ne la composició química i pot ser útil examinar-lo amb eines científiques per identificar-ne les pautes i l'estructura.

5.2.4 Investigació històrica i antropològica

Un element important per conèixer el material és investigar com utilitzaven la matèria primera en el passat diferents cultures i com es manipulava, es processava i es tractava. Això sol dur a inspirar-se en tècniques i processos tradicionals, un fet que

pot ser útil si es trasllada al context de fabricació modern. Sovint hi ha relats històrics sobre l'ús del material que poden aportar un valor emocional al dissenyador i a l'usuari.

5.2.5 Valor

No cal dir que és important identificar el valor monetari del material, però és igual d'important el valor percebut per un usuari potencial, ja que alguns materials que poden tenir bones propietats tècniques podrien ser percebuts de forma negativa per part de l'usuari per motius tradicionals o culturals.

5.2.6 Exploració pràctica

L'exploració és el primer pas del procés i inclou una investigació pràctica del material per veure com respon als canvis en qualsevol situació imaginable, tant des de la perspectiva tècnica com des de la sensorial. Descriure l'experiència experimental del material, per exemple, és tan important com definir l'especificació tècnica calculable, com la resistència al foc, la biodegradabilitat o la impermeabilitat. Ambdós aspectes formen part de la identificació de les qualitats de la matèria primera.

5.3 Segon pas: manipulació i disseny del material

Aplicar el màxim nombre possible de tècniques, eines i processos pertinents proporciona un coneixement integral del potencial del material i permet al dissenyador manipular creativament el disseny del material per adequar-lo als requisits específics de la funció, la forma o l'expressió estètica.

5.3.1 Manipulació

Amb la informació obtinguda sobre el material en el primer pas, el dissenyador té la base necessària per començar a manipular el material i transformar-lo en alguna cosa nova. Això requereix aplicar-hi tractament mecànic i químic per obtenir bones propietats i sol comportar la dificultat de trobar substàncies aglutinants compatibles, des del punt de vista de la sostenibilitat, així com adaptar o construir eines aptes per al material. El material i el producte s'han de dissenyar perquè siguin biodegradables o reciclables o desmuntables. En aquesta



Fig 7. Un participant explorant les textures i estructures de les plantes i estratègies de supervivència al jardí botànic de Copenhaguen. (Assaig 3)

fase ja sol resultar evident quina d'aquestes condicions es complirà. És possible barrejar materials biodegradables en un compost sense comprometre les possibilitats de biodegradació, però treballar amb materials per reciclar generalment vol dir limitar-se a monomaterials o dissenyar-los perquè siguin desmuntables.

5.3.2 Esbossos en 3D

El valor dels esbossos en el procés de disseny és ben conegut (Cross 2006; Goldschmidt 1991, 123-143). Seria ideal que l'esbós d'un disseny per a la sostenibilitat guiat pel material s'elaborés amb el material i, en conseqüència, en 3 dimensions des del principi. El disseny del material és el primer pas per arribar a la forma i en aquesta fase del procés s'hauria de centrar en les diferents possibilitats de transformar el material en una estructura o forma tridimensional.

5.3.3 Abordar les debilitats

Els diferents materials tenen diferents propietats intrínseques, però és important no acceptar debilitats innecessàries. Així, identificar i abordar aspectes com ara la fragilitat o el poc atractiu estètic o aromàtic és crucial en aquest punt del procés.

5.3.4 Potenciar les fortaleces

El valor d'un material està en les seves fortaleces (des del punt de vista tècnic i d'experiència) i aquestes seran importants més endavant per a la qualitat del producte, de manera que caldrà esforçar-se ara per potenciar-les.

5.4 Tercer pas: desenvolupament del producte

El procés de disseny guiat pel material no és estrictament lineal, sinó que es pot considerar un diàleg constant entre el material, la funció i la forma. Per això, el material rarament està determinat del tot abans de començar el desenvolupament del producte i és molt probable que necessiti petits ajustaments per adaptar-ne la funció i la forma.

5.4.1 La forma i la funció

En aquesta fase és quan comença a prendre forma el producte real. En aquest punt, el material hauria de complir els requisits de l'especificació de disseny. Si el procés s'utilitza més obertament per explorar el valor d'un material, ara és el moment de decidir una funció que li resulti adequada.

5.4.2 Elaboració manual per a fabricació digital

Dissenyar un objecte físic segons un procés de disseny guiat pel material requereix la mateixa consideració laboriosa sobre forma, funció i usabilitat que altres processos de disseny. Tanmateix, com que en aquest procés el dissenyador també dissenya i manipula el material, apareix l'oportunitat de simplificar i optimitzar el camí que duu de la matèria primera al producte acabat. Segons la instal·lació física disponible, el prototip es podria produir manualment en gran manera. Tanmateix, quan passi a producció és probable que aquesta sigui de tipus industrial, amb els mitjans de la tecnologia moderna i, com a conseqüència, normalment millorarà en termes d'acabat, i a més es reduirà

considerablement el temps de producció. És important tenir-ho present a l'hora de crear el prototip: un prototip teixit manualment en un teler casolà probablement serà fabricat mitjançant tecnologia CAD/CAM de teixit en 3D en la fase de producció industrial.

5.4.3 Presentació del prototip

Quan el procés de disseny guiat pel material està acabat, el disseny es presenta a escala 1:1 amb el material. Això ofereix la imatge més real possible de les propietats tècniques, sensorials i funcionals del producte. En alguns casos, si el producte és de grans dimensions, se'n pot presentar un fragment. En aquest cas, és important triar-ne que demostrï que els materials són adequats per al producte.

5.5 Tres enfocaments sobre l'exploració de materials

Tal com es descriu a l'apartat 4, seria ideal que l'exploració de materials fos interdisciplinària. Això afecta els enfocaments del disseny per a la sostenibilitat guiat pel material. Així, seria perfecte que s'apliquessin tant els mètodes fenomenològics basats en els sentits que s'han utilitzat tradicionalment en l'art i el disseny, com els mètodes científics que impliquen experimentació, càlcul i observació sistemàtica. Des dels primers assajos es va fer evident que aquest equilibri no es donava de forma natural en la majoria dels participants i, com a conseqüència, aquestes directrius que inclouen tres enfocaments adequats van ser establertes finalment a partir de l'assaig 3 (vegeu E1-E17 i D6-D10 a la taula 2 per a més detalls sobre el desenvolupament).

5.5.1 L'enfocament fenomenològic

En les professions artístiques hi ha certa tendència a adoptar un enfocament fenomenològic, fins i tot sense que sigui explícit o si el participant no està avesat al mètode. La prova i l'exploració del material se solen basar en experiències subjectives i en la seva percepció immediata. Aquest procés pot ser sistemàtic, però és més habitual que es basi en estudiar i desenvolupar lliurement les propietats tècniques i sensorials per mitjà de la manipulació i l'exploració creativa del material basada en els sentits. Les reflexions durant el procés de disseny abordaran normalment aspectes de l'experiència, com l'olor del material, el seu tacte i el seu comportament i quines associacions podria despertar en l'usuari. Això durà el dissenyador a considerar aspectes com ara l'estètica i la percepció cultural del material i, normalment a través de l'enfocament fenomenològic, començarà a jugar-hi. Els errors i els resultats imprevistos són habituals i poden resultar molt útils. Un exercici inicial per estimular l'enfocament fenomenològic pot incloure, per exemple, anular la nostra visió a l'hora de presentar els materials. Així, per exemple, es tapen els ulls als dissenyadors, se'ls presenten diversos materials i se'ls pregunta si el que estan tocant és sostenible o de bona qualitat. Ambdues característiques dependran en gran manera de com s'utilitzi el material, però l'exercici ens ajuda a adonar-nos

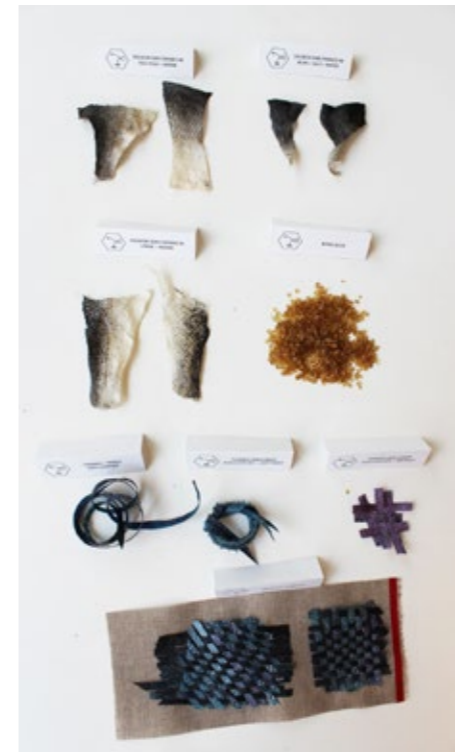


Fig 8. Imatge del procés i del prototip final. Aquest projecte es basava en estudis sobre les propietats de la pell de les serps i com generar-la artificialment. Malgrat la forta connexió amb les ciències naturals, el projecte es va allunyar molt de l'àmbit d'aquestes ciències, senzillament perquè el participant no tenia ni els mitjans ni les instal·lacions necessàries per explorar el potencial de produir aquest tipus de material. Com a conseqüència, el projecte va acabar en una declaració del que podria haver estat, estimulants per al pensament, però no necessàriament fruit d'un disseny per a la sostenibilitat guiat pel material. (Assaig 4)

de com n'és de subjectiva i esbiaixada la nostra experiència del material.

5.5.2 L'enfocament científic

Hi ha moltes coses que no es poden calcular ni descriure amb dades. Però actuar sistemàticament i registrar tots els passos permet un procés molt més eficient. Proporciona la informació necessària per repetir o elaborar proves primerenques i les dades que es requereixen per a l'avaluació tècnica comparativa de diferents mostres del material. Una indagació més científica durant el procés es relacionarà normalment amb qüestions com ara el rendiment o les característiques del material i amb la manera de calcular-los. Així, per exemple, si la biodegradabilitat del material és un tret important per al producte, com es pot comprovar i millorar-la ajustant-ne la composició química? O si la resistència a la tensió és crucial per a la funció del producte, com afectaran el resultat diferències en la longitud de les fibres i la ràtio entre els aglutinants i les fibres? Calcular i documentar cada pas d'un assaig o d'un procés va semblar poc natural a la majoria dels participants en els assajos i, a més de les xerrades i les demostracions, va resultar útil introduir-hi eines pràctiques com ara els diaris de laboratori i requisits sobre l'etiquetatge [així com] assegurar la sistematització i la precisió en el desenvolupament del material.

5.5.3 L'enfocament del biomimetisme

El biomimetisme, segons s'entén aquí, consisteix a aprendre de les formes, els processos i els ecosistemes de la natura per emular-los més endavant i crear dissenys més sostenibles (Baumeister 2014). La natura és un tresor de solucions sostenibles sobre disseny de materials i estructures d'organismes,

optimitzats pel seu entorn i per la selecció evolutiva al llarg de milions d'anys. Si fóssim capaços d'interpretar-les plenament, la natura seria un manual perfecte de disseny per a l'economia circular. Malgrat això, fins i tot amb els limitats coneixements actuals és pertinent incloure el biomimetisme com a enfocament en el disseny per a la sostenibilitat guiat pel material. Un exemple conegut n'és el tren bala japonès, inspirat en un ocell, el blavet. Però la seva relació amb la natura no fa que el tren bala sigui menys nociu per al medi ambient que altres trens. Això és així perquè el biomimetisme s'utilitza per emular les qualitats mecàniques i la forma naturals, però ignorant la composició i l'estructura del material. Alguns exemples de biomimetisme centrat en el material podrien ser estudiar com la natura dona a la pell del tauró propietats antibacterianes o com la nanoestructura de l'ala d'una papallona atrapa la llum perquè la veiem de color blau viu. El biomimetisme com a enfocament és pertinent per al disseny guiat pel material quan el més important és estudiar la composició i l'estructura, i la forma a gran escala és secundària. Es va provar i es va incloure l'enfocament a partir de l'assaig 3 amb l'ajuda del Biomimicry Institute (The Biomimicry Institute 2018) i d'un biòleg. Entre altres activitats, això es va traduir en viatges sobre el terreny per a estudiar plantes (figura 7) (vegeu la taula 2, D6-D10).

Fins que es van introduir aquests enfocaments en el procés, la qualitat dels resultats dels assajos era irregular. La manca d'un enfocament sistemàtic produïa resultats potiners, mentre que la manca de creativitat en l'exploració de materials frenava la innovació del material, el procés i el

Fig 9. Mostres de processos i prototip final elaborat amb pell de salmó, un producte residual de la indústria pesquera. La pell es va adobar amb urea (d'orina) i es va teñir amb tints naturals. El resultat és una gorra totalment biodegradable elaborada per a Nike. (Assaig 4)

producte. Com a conseqüència, a partir de l'assaig 3, es van introduir els enfocaments i es va demanar als participants que en les seves presentacions fossin més explícits sobre l'enfocament que utilitzaven en cada situació. A l'assaig 3 es va introduir el requisit d'utilitzar diaris de laboratori per registrar totes les dades i les accions. Gràcies a això, l'exploració i el desenvolupament de materials van ser un procés més metòdic i fàcilment repetible.

6 LIMITACIONS I REQUISITS PREVIS

Tal com es presenta en aquest article, el disseny per a la sostenibilitat guiat pel material, tant en termes de procés de disseny com d'enfocaments, s'ha desenvolupat a través d'assajos de disseny en què van participar estudiants de disseny. És possible que els dissenyadors professionals no tinguin necessàriament un coneixement profund de l'economia circular, però probablement tindran una base més sòlida d'aptituds, coneixements i experiències que segurament els servirà per poder interioritzar més ràpidament els enfocaments presentats a l'apartat anterior. Als subapartats següents s'aborden les limitacions exposades al llarg de la investigació, diferents variacions en l'ús del disseny per a la sostenibilitat guiat pel material i els requisits previs necessaris per aplicar el procés de disseny.

6.1 Limitacions

El disseny per a la sostenibilitat guiat pel material obre la porta a diversos recursos que els dissenyadors no utilitzen habitualment, recursos que solen ser abundants i que actualment tenen poc valor o es consideren residus o nous recursos creats mitjançant biotecnologia que comencen a sortir dels laboratoris. Malgrat això, una part considerable dels materials que avui es consideren residus o subproductes són una barreja de materials biodegradables i sintètics. Separar-los és difícil o impossible i, com a conseqüència, hi ha materials residuals contaminats o barrejats de manera que no es poden descompondre amb la tecnologia actual. Això fa que siguin poc adequats com a matèria primera en el disseny per a la sostenibilitat guiat pel material. D'altra banda, el cercle tècnic del reciclatge no és perfecte. Alguns materials reciclables, com la majoria dels termoplàstics, es deterioren després de diversos cicles de reciclatge. Això vol dir que en un futur en què l'economia circular estigui establerta, no necessitarem tenir en compte si materials com els plàstics no biodegradables ni tan sols s'han de produir o si es podrien substituir per alternatives biodegradables.

Per acabar, el coneixement i les competències del dissenyador i les característiques de l'espai físic en què es duu a terme el procés són tant possibilitats com limitacions del procés i dels resultats. Segons les instal·lacions, alguns materials són més adequats que altres. En algun cas, fins i tot serà impossible treballar amb els materials, encara que siguin totalment reciclables. La causa d'això podria ser la inexistència d'un forn per fondre alumini o vidre, o un grau de bioseguretat insuficient a l'hora de cultivar materials vius. El resultat d'una situació com aquesta s'exemplifica a la figura 8.

TEMES DE DISSENY #34

6.2 Requisites previs

Que un disseny per a la sostenibilitat guiat pel material comenci amb el material no vol dir que la forma sigui insignificant. La forma és inherent en els tres passos del procés: des de la forma de la unió molecular o la forma de la textura superficial fins a la forma dels components estructurals o la forma global del producte. Una cadira totalment biodegradable i/o reciclable també ha de ser còmoda, o serà descartada ràpidament. De la mateixa manera, ha de resultar agradable des del punt de vista estètic a llarg termini, sense dependre dels capricis de la moda. En cas contrari, el disseny ben aviat es veurà obsolet. Això és aplicable al procés de disseny guiat pel material i a qualsevol altre procés de disseny (Harper 2015). Així, un dissenyador que no tingui les aptituds, les tècniques i l'experiència per al disseny amb formes tridimensionals estarà en desavantatge, fins i tot en el procés de disseny guiat pel material. Un exemple d'un participant que va aconseguir trobar una bona relació entre forma, funció, estètica i qualitats materials s'il·lustra a la figura 9.

7 OBSERVACIONS FINALS

Tal com s'ha exposat a la introducció, l'objecte d'aquesta investigació és posar a prova el disseny guiat pel material com a procés de disseny per a la sostenibilitat i la seva potencial aportació a un canvi sistemàtic a favor d'una economia circular. El procés es va posar a prova i es va desenvolupar en cinc assajos de disseny, fins al punt que està plenament avançat dins del context donat, definit pel tipus de participants i les instal·lacions físiques. D'aquí que estigui prou desenvolupat per provar-lo en altres contextos. Per donar una idea de la seva adequació i el seu impacte potencial, seria ideal implicar-hi dissenyadors experts i els departaments de disseny de les empreses que s'han declarat favorables a la sostenibilitat (com ara IKEA, Nike, Patagonia, etc.). Però per provar l'abast del procés també seria pertinent provar-lo en un entorn dominat per la tecnologia o les ciències naturals. Cal suposar que el procés continuarà evolucionant a mesura que s'estengui l'àmbit del disseny guiat pel material, la tecnologia avanci i arribem a conèixer millor com construeix la natura.

Ara per ara, però, podem concloure que, quant a la sostenibilitat, el procés ha demostrat el seu potencial en els aspectes següents:

El disseny per a la sostenibilitat guiat pel material permet que el dissenyador treballi amb la sostenibilitat en una realitat material que actualment ja és molt interdisciplinària.

El disseny per a la sostenibilitat guiat pel material duu el dissenyador a prendre consciència de recursos alternatius fàcilment accessibles, com ara la gran quantitat i varietat de subproductes de biomassa econòmics que produeix la indústria.

El disseny per a la sostenibilitat guiat pel material fa del dissenyador un especialista en el material en qüestió. Això el prepara per prendre decisions

ARTICLE ORIGINAL

qualificades amb relació a la sostenibilitat en el procés de fabricació.

Pel que fa a la contribució a un canvi sistemàtic a favor d'una economia circular, els assajos han demostrat que seguint els processos del disseny per a la sostenibilitat guiat pel material s'obté un producte que és reciclable i/o biodegradable. Tanmateix, seguir el procés no garanteix que l'usuari recicli realment un producte dissenyat per ser reciclat quan se'n vulgui desprendre. Tampoc es planteja el disseny guiat pel material si un problema de disseny es pot resoldre sense passar pel material, per mitjà del disseny de reparacions, la reutilització, l'ús compartit, etc. Per canviar la manera de fer les coses cal un pensament holístic i un enfocament sistemàtic del disseny per a la sostenibilitat. Però aquests esquemes tan generals tenen un error: entre tanta complexitat i magnitud es perden les instruccions concretes per al dissenyador del producte. En canvi, l'esquema del disseny per a la sostenibilitat guiat pel material que es presenta en aquest article és un enfocament de disseny per a la sostenibilitat no sistèmic, que *efectivament* proporciona unes instruccions específiques al dissenyador del producte.

<p>REFERÈNCIES</p>	
Ashby, Mike i Kara Johnson. 2003. "The Art of Materials Selection." <i>Materials Today</i> 6 (12): 24-35.	
Baumeister, Dayna. 2014. <i>Biomimicry Resource Handbook: A Seed Bank of Best Practices</i> . Missoula: Biomimicry 3.8.	
Binder, Thomas i Johan Redström. 2006. "Exemplary Design Research." <i>Design Research Society Wonderground International Conference 2006</i> , 1-4 Nov 2006, Lisbon, Portugal.	
Brandt, Eva, Johan Redström, Mette Agger Eriksen, i Thomas Binder. 2011. <i>Xlab</i> . Copenhagen:The Danish Design School Press.	
Ceschin, Fabrizio i Idil Gazliulusoy. 2016. "Evolution of Design for Sustainability: From Product Design to Design for System Innovations and Transitions." <i>Design Studies</i> 47: 118-163.	
Church, George. "Bio Academy.", consulta 1 de març, 2018, http://bio.academyany.org.	
Collet, Carole. 2012. "BioLace: An Exploration of the Potential of Synthetic Biology and Living Technology for Future Textiles." <i>Studies in Material Thinking</i> 7.	
Cross, Nigel. 2006. <i>Designerly Ways of Knowing</i> . London: Springer.	
Dublin Science Gallery. "Grow Your Own.", consulta 20 de març, 2017, https://dublin.sciencegallery.com/growyourown.	
Ellen Mac Arthur Foundation. "Ellen Mac Arthur Foundation.", consulta 8 de febrer, 2018, https://www.ellenmacarthurfoundation.org.	
European Union. "Circular Economy.", consulta 1 de març, 2018, http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm.	
Frayling, Christopher. 1993. "Research in Art and Design" <i>Royal College of Art Research Papers</i> 1 (1). London: Royal College of Art.	
Goldschmidt, Gabriela. 1991. "The Dialectics of Sketching." <i>Creativity Research Journal</i> 4 (2): 123-143.	
Government of the Netherlands., consulta 1 de març, 2018, https://www.government.nl/topics/circular-economy.	
Hansen, Flemming Tvede. 2010. <i>Materialedeven 3d Digital Formgivning: Eksperimenterende Brug Og Integration Af Det Digitale Medie i Det Keramiske fagområde (Experimental use and Integration of Digital Media in the Field of Ceramics)</i> . PhD Diss., Royal Danish Academy of Fine Art, School of Design.	
Harper, Kristine. 2015. <i>Æstetisk Bæredygtighed [Aesthetic Sustainability]</i> . Copenhagen: Samfundslitteratur.	
Het Nieuwe Instituut, Fonds Kwadraat i Stichting doen. "New Material Award.", consulta 2 de març, 2018, http://www.newmaterialaward.nl.	
Karana, Elvin, Bahareh Barati, Valentina Rognoli,i Zeeuw Van Der Laan, A. 2015. "Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences." <i>International Journal of Design</i> 9 (2): 35-54.	
Karana, Elvin, Paul Hekkert, i Prabhu Kandachar. 2010. "A Tool for Meaning Driven Materials Selection." <i>Materials & Design</i> 31 (6): 2932-2941.	
Kean, S. 2011. "A Lab of their Own." <i>Science (New York, N.Y)</i> 333 (6047): 1240-1241.	
Klarenbeek, Erick. "Mycelium Chair.", consulta 1 de març, 2018, www.ericklarenbeek.com.	
Koskinen, Ilpo, John Zimmerman, Thomas Binder, Johan Redstrom, i Stephan Wensveen. 2011. <i>Design Research through Practice: From the Lab, Field, and Showroom</i> . Waltham: Morgan Kaufmann/Elsevier.	
Krogh, Peter Gall, Thomas Markussen, i Anne Louise Bang. 2015. "Ways of drifting—Five Methods of Experimentation in Research through Design." <i>Dins ICoRD'15- Research into Design Across Boundaries Volume 1</i> , edited by Amaresh Chakrabarti, 39-50. New Delhi: Springer.	
Lee, Suzanne. "Biofabricate.", consulta 1 de març, 2018, http://www.biofabricate.co/about/.	
Materfad. "Materfad.", consulta 1 de març, 2018, http://es.materfad.com.	
Materia. "Materia.", consulta 1 de març, 2018, https://materia.nl.	

M. BAK-ANDERSEN

Material Connexion. "Material Connexion.", consulta 1 de març, 2018, www.materialconnexion.com.	
Michaud, Hannah. "Apple Leather.", consulta 1 de març, 2018, https://www.theapplegirl.org.	
Miodownik, Mark. 2003. "The Case for Teaching the Arts." <i>Materials Today</i> 6 (12): 36-42.	
Miodownik, Mark. 2005. "Facts Not Opinions?" <i>Nature Materials</i> 4 (7): 506-508.	
Miodownik, Mark. 2007. "Toward Designing New Senseoasthetic Materials." <i>Pure and Applied Chemistry</i> 79 (10): 1635-1641.	
Mogas-Soldevila. 2015. <i>Water-based digital design and fabrication: material, product, and architectural explorations in printing chitosan and its composites</i> .	
PhD diss. Massachusetts Institute of Technology.	
Montalti, Maurizio. "Officina Corpuscoli.", consulta 2 de febrer, 2018, http://www.corpuscoli.com/projects/the-future-of-plastic/.	
OED, 2017. Oxford E. D. "OED Online." Oxford University Press, consulta 20 juliol, 2017, http://dictionary.oed.com.	
Oxman, Neri. 2010. "Material-Based Design Computation". PhD diss., Massachusetts Institute of Technology.	
Oxman, Neri. 2018. "Pneuma.", consulta 1 de març, 2018, http://web.media.mit.edu/~neril/site/projects/pneuma1/pneuma1.html.	
Pearce, David W. i R. Kerry Turner. 1990. <i>Economics of Natural Resources and the Environment</i> . Baltimore: John Hopkins University Press.	
Ramalhete, PS, AMR Senos, i C. Aguiar. 2010. "Digital Tools for Material Selection in Product Design." <i>Materials & Design</i> (1980-2015) 31 (5): 2275-2287.	
Redström, Johan. 2017. <i>Making Design Theory</i> . Cambridge, MA: MIT Press.	
Rittel, Horst WJ i Melvin M. Webber. 1973. "Dilemmas in a General Theory of Planning." <i>Policy Sciences</i> 4 (2): 155-169.	
Rognoli, Valentina, Massimo Bianchini, Stefano Maffei, i Elvin Karana. 2015. "DIY Materials." <i>Materials & Design</i> 86: 692-702.	
Schön, Donald A. 2017. <i>The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action</i> . London: Routledge.	
Simon, Herbert A. 1988. "The Science of Design: Creating the Artificial." <i>Design Issues</i> Vol. 4, no 1/2: 67-82.	
Smith, Cyril Stanley. 1970. "Art, Technology, and Science: Notes on their Historical Interaction." <i>Technology and Culture</i> 11 (4): 493-549.	
Su, Biwei, Almas Heshmati, Yong Geng, i Xiaoman Yu. 2013. "A Review of the Circular Economy in China: Moving from Rhetoric to Implementation." <i>Journal of Cleaner Production</i> 42: 215-227.	
Sutherland, Tara D., James H. Young, Sarah Weisman, Cheryl Y. Hayashi, i David J. Merritt. 2010. "Insect Silk: One Name, Many Materials." <i>Annual Review of Entomology</i> 55: 171-188.	
The Biomimicry Institute. "The Biomimicry Institute.", consulta 3 de març, 2018, https://biomimicrytest.wpengine.com.	
University College London. "Institute of Making.", consulta 1 de març, 2018, http://www.instituteofmaking.org.uk.	
Van Bezoooyen, Aart. 2013. "Materials Driven Design." Dins <i>Materials Experience: Fundamentals of Materials and Design</i> , editat per Elvin Karana, Owain Pedgley, i Valentina Rognoli, 277-286. Amsterdam: Elsevier.	
Van Kesteren, IEH, Pieter Jan Stappers, i JCM De Bruijn. 2007. "Materials in Products Selection: Tools for Including User-Interaction in Materials Selection." <i>International Journal of Design</i> 1 (3): 41-55.	
Weiner, Steve, Lia Addadi, i H. Daniel Wagner. 2000. "Materials Design in Biology." <i>Materials Science and Engineering: C</i> 11 (1): 1-8.	
Wilkinson, Karen i Mike Petrich. 2013. <i>The Art of Tinkering: Meet 150 Makers Working at the Intersection of Art, Science & Technology</i> . San Francisco: Weldon Owen.	

25

Reflexió i acció					
Assaig de disseny	Tema principal	Troballes	Reflexió	Acció	Pregunta
1	Matèries primeres	A1) Es va utilitzar una àmplia gamma de biomaterials residuals d'una manera nova.	A2) Podria ser el resultat de les restriccions de les matèries primeres.	A3) Provar què passa si no hi ha restriccions sobre les matèries primeres utilitzades.	A4) Com afectarà els resultats el fet que no hi hagi restriccions sobre les matèries primeres?
	Usabilitat	B1) El procés de prova sobre la base d'una exploració oberta dels materials que duu a la definició d'un producte d'acord amb les característiques del material. Això no reflecteix la forma de treballar de la majoria dels dissenyadors.	B2) El procés s'hauria de provar amb una especificació de disseny concreta, ja que en cas contrari serà difícil avaluar l'adequació per a la indústria.	B3) Provar el procés amb l'especificació de disseny d'una empresa per crear una situació més similar a la realitat. (S'estableix la col·laboració amb Nike).	B4) Com es pot utilitzar el disseny per a la sostenibilitat guiat pel material amb una especificació de disseny concreta*?
	Estudiants Entorn educatiu >< Expert Entorn professional	C1) Els participants en l'assaig són estudiants i les competències i els coneixements d'alguns són limitats, en comparació amb el que cal esperar d'un dissenyador professional.	C2) Un context educatiu amb estudiants ofereix un entorn adequat i flexible per provar i desenvolupar el procés, però en l'última instància aquest no s'hauria d'utilitzar només en l'ensenyament. També hauria de ser un procés que els dissenyadors poguessin aplicar a la indústria.	C3) Implicar les empreses i els professionals externs en el desenvolupament del procés (s'estableix la col·laboració amb Nike**).	C4) Com afectarà als resultats la implicació dels experts en disseny del sector?
	Sostenibilitat	D1) No tots els resultats són compatibles amb una economia circular.	D2) Els participants no tenen prou coneixements sobre la circularitat dels materials.	D3) S'introdueix una comprovació de la circularitat en el procés, al principi de tot, per descartar qualsevol matèria primera que no sigui compatible. (5.2.1)	D4) Com afecta els resultats aquesta comprovació de la circularitat?
	Enfocament	E1) En general, els resultats són més artístics que funcionals. Molts no estan plenament desenvolupats i alguns participants han tingut problemes per repetir els experiments amb èxit. Alguns participants van utilitzar fulls d'assaig i error per informar del seu procés.	E2) L'experiència dels participants en l'exploració i el treball amb materials és escassa o nul·la. En la seva exploració, semblen dominats intuïtivament per un enfocament fenomenològic i no segueixen una lògica ni un ordre. Uns quants van tenir dificultats per repetir els experiments que van produir bones mostres de material.	E3) Observar l'exploració més detalladament en l'assaig següent per especificar la direcció que hauria de seguir l'exploració.	E4) Quins enfocaments específics sobre l'exploració de materials podrien ser beneficiosos per al procés?
	Avaluació	F1) La definició dels criteris i procediments d'avaluació és massa vaga.	F2) Els criteris d'avaluació dels resultats s'han de definir d'acord amb l'objectiu de la investigació. D'aquesta manera serà possible obtenir dades que es puguin utilitzar en el desenvolupament del procés. El procediment d'avaluació seria més objectiu si inclogués l'opinió d'altres professionals.	F3) Els criteris d'avaluació s'estableixen d'acord amb l'objectiu de la investigació i l'especificació* definits per Nike. Els productes s'analitzaran d'acord amb els principis d'avaluació del cicle de vida (Life Cycle Assessment, LCA) i amb l'eina "Making" de Nike, que proporciona dades sobre diferents materials que l'empresa utilitza en la seva producció.	F4) És possible dur a terme una anàlisi comparativa dels resultats?

Assaig de disseny	Tema principal	Troballes	Reflexió	Acció	Pregunta
2	Matèries primeres	A5) Genrealment, els materials utilitzats eren materials comercialment disponibles.	A6) Gairebé tots els materials eren materials estàndard comprats a prop i la majoria dels participants va triar mètodes de fabricació tradicionals. Aquest "defecte" podria ser el resultat de la lliure elecció dels materials i que, per això, els participants triessin allò que coneixien, o també podria ser resultat del mètode d'avaluació (van triar materials que estaven representats amb dades a l'eina d'avaluació).	A7) En la situació docent s'haurien d'aplicar les restriccions sobre les matèries primeres que es puguin utilitzar, per assegurar l'exploració del material.	A8) Què passa si els participants poden triar entre 5 materials preseleccionats adequats****?
	Usabilitat	B5) Els participants van lliurar productes d'acord amb l'especificació, però el procés s'ha utilitzat principalment com un complement per a la inspiració.	B6) Hi ha diverses raons interrelacionades que expliquen els resultats (vegeu A6). Però, aparentment, si el procés no té unes instruccions específiques, pas a pas, els participants seguiran per defecte un procés de disseny guiat per la forma que compleixi l'especificació del disseny.	B7) S'introdueixen instruccions específiques per explorar el material (5.2.6 i 5.3.1). Decisió d'esperar amb la repetició de B4 fins que el procés estigui més ben definit.	
	Estudiants Entorn educatiu >< Expert Entorn professional	C5) Dissenyadors professionals van oferir als participants valuoses orientacions i comentaris, i la seva implicació va ser un factor de motivació. En el desenvolupament del procés, van actuar com a caixa de ressonància en representació de la indústria.	C6) Si els dissenyadors professionals no són experts en disseny per a la sostenibilitat guiat pel material o, si més no, tenen instruccions molt específiques de com utilitzar el procés, el fet que guïin els participants no serà necessàriament beneficiós per al desenvolupament del procés. En aquest punt potser seria més profitosa una col·laboració que aportés experiència tecnològica i uns equips més avançats.	C7) El procés s'ha de definir detalladament i s'ha d'escriure pas a pas abans que els dissenyadors professionals s'hi tornin a implicar. S'estableix una col·laboració amb l'Institut Tecnològic Danès per facilitar accés a experiència i col·laboració tecnològica amb el Biomimicry Institute. (Vegeu D6)	
	Sostenibilitat	D5) La comprovació de la circularitat va assegurar la compatibilitat amb una economia circular per a les matèries primeres utilitzades. Però no en els resultats finals. Generalment, els resultats es basen en tècniques de fabricació tradicionals.	D6) La circularitat és important durant tot el procés. L'error típic va aparèixer en el muntatge. No hi ha gaire literatura que proporcionï una bona guia per dissenyar productes per a una economia circular. El biomimetisme s'està considerant una eina per satisfer aquesta demanda. El procés hauria de qüestionar els mètodes de producció laboral intensius i aspirar a la manera més simple de passar de la matèria primera al producte final.	D7) El disseny per al desmuntatge s'introdueix en la manipulació del material (5.3.1) i l'"Elaboració manual per a la fabricació digital" (5.4.2) s'introdueix en el desenvolupament del producte.	

	Enfocament	E5) L'assaig número 2 es va desviar excessivament del disseny guiat pel material per extraure troballes valuoses respecte dels enfocaments.	E6) La causa d'això, en part, podrien ser els fets esmentats a A6 i B6, però també el fet de no haver explicat l'enfocament de l'exploració del material. Els enfocaments han de ser explícits. Els assajos van constar d'una sèrie d'experiments. Alguns haurien de ser oberts i susceptibles de ser dissenyats, però també se n'han d'establir altres de forma sistemàtica per provar una hipòtesi específica.	E7) S'estableix una directriu específica sobre com utilitzar un enfocament tant fenomenològic com científic per a l'exploració. Així mateix, s'entreguen diaris de laboratori per registrar-ho tot.	E8) De quina manera afectarà els resultats una directriu específica sobre l'enfocament de l'exploració i el desenvolupament del material? Es pot utilitzar el biomimetisme com a enfocament? (Vegeu D6 i C7)
	Avaluació	F5) Tots els participants van triar materials amb dades disponibles a l'eina "Making" de Nike. D'aquesta manera, fins a un cert punt va ser possible mesurar i comparar.	F6) Les dades proporcionades per l'eina només poden servir com a indicador, ja que es basen en els proveïdors de Nike i no en el material obtingut pels estudiants. Tant l'eina com l'ús de l'avaluació del cicle de vida (LCA) en l'avaluació forcen en cert sentit l'enfocament cap a l'obtenció de dades mesurables. Al final, moltes d'aquestes dades s'hauran de basar en supòsits.	F7) S'estableix un conjunt inicial de directrius basades en l'economia circular i els principis de la LCA com ara paràmetres per a avaluació.	
Assaig de disseny	Tema principal	Troballes	Reflexió	Acció	Pregunta
3	Matèries primeres	A8) Triant un nombre limitat de materials adequats va ser possible comparar diferents resultats elaborats amb el mateix material.	A9) Veure els mateixos materials manipulats i utilitzats en diferents dissenys és valuós per entendre el potencial de les diferents matèries primeres. Diferents companyies de la indústria produeixen materials de biomassa que actualment es consideren residus. Les companyies que van aportar materials per a l'assaig es van mostrar interessades en la possibilitat de convertir-los en nous materials i productes. (Vegeu A14) Triar un nombre limitat de materials estalvia temps i n'assegura l'adequació al procés, però els participants també perden el descobriment de la quantitat i la varietat de materials disponibles.	A10) El material s'ha d'obtenir localment i actualment ha de ser considerat un residu de molt poc valor. Totes les altres consideracions respecte de l'elecció de la matèria primera s'han de definir en els passos inicials dels processos.	A11) De quina manera les accions de la part inicial del procés afecten la compatibilitat amb l'economia circular i la sostenibilitat en general?
	Usabilitat	B8) Tots els participants han seguit el procés i tots han produït un material i un producte nous.	B9) El procés es defineix més detalladament, amb els passos i els enfocaments específics, i està preparat per tornar	B10) Es tornen a establir amb Nike una col·laboració i una nova especificació**** que esmenta concretament	B11) Aquesta vegada el procés està prou desenvolupat per incloure una especificació concreta? Què passa

			a ser provat amb una companyia i una especificació de disseny.	el disseny per a la sostenibilitat guiat pel material.	quan el procés s'utilitza amb una especificació de disseny?
	Estudiants Entorn educatiu >< Expert Entorn professional	C8) La qualitat dels resultats és variada. Un cop finalitzat l'assaig, un estudiant continua treballant en el seu material i el seu producte amb l'Institut Tecnològic Danès.	C9) Els resultats reflecteixen el nivell de competència i el coneixement dels participants i, en un cert grau, també les instal·lacions físiques disponibles per a la manipulació dels materials i la producció del prototip.	C10) Es tornen a implicar professionals del disseny per a la presentació inicial, una sessió de Q&A (webinari) intermèdia i per a la presentació final.	
	Sostenibilitat	D8) Tots els productes són compatibles amb una economia circular. Els participants han utilitzat el biomimetisme com a enfocament en diferents graus.	D9) El biomimetisme es pot utilitzar com a enfocament. L'eina Asknature.org pot ser útil en alguns casos.	D10) El biomimetisme s'inclou com a enfocament en el procés.	
	Enfocament	E8) Els enfocaments han assegurat rigor i sistematització en el procés i han donat als participants un llenguatge per descriure les seves accions. La qualitat dels registres als diaris de laboratori és variada.	E9) Aquests enfocaments específics podrien no ser necessaris per als dissenyadors experimentats.	E10) Vegeu D10.	
	Avaluació	F9) Els resultats s'adeqüen al conjunt de directrius. Alguns productes estan creats amb materials que culturalment es perceben com a poc atractius o de poc valor.	F10) L'estètica i el valor percebut són aspectes importants per a la sostenibilitat. Cal un grau més alt de coneixement del valor percebut del material.	F11) S'introdueixen requisits sobre investigació històrica i antropològica en el procés (5.2.4), així com consideracions sobre el valor (5.2.5). (Vegeu també A11-A14)	F12) (Vegeu A11)
Assaig de disseny	Tema principal	Troballes	Reflexió	Acció	Pregunta
4	Matèries primeres	A12) Les decisions preses a la part inicial del procés amb relació a la matèria primera són decisives perquè el resultat final sigui compatible amb una economia circular i amb la sostenibilitat en general. Els materials utilitzats són inusuals en molts casos i es processen d'una forma nova.	A13) Una investigació i una exploració inicials i exhaustives del material són crucials per al resultat final.	A14) A més de la comprovació de la circularitat introduïda després de l'assaig 1 (5.2.1), s'han identificat 3 accions diferents com a centrals en la recerca inicial de matèries primeres: Investigació de la font (5.2.2), Composició (5.2.3) i Valor (5.2.5). (Vegeu també B14)	
	Usabilitat	B12) El procés és compatible amb una especificació de disseny.	B13) L'especificació emmarca tres passos diferents en el procés i fa que estigui més enfocat. Tots els passos es duen a terme d'acord amb les funcions que el producte final haurà de complir. Això afegeix instruccions a l'experimentació. Els resultats són els millors fins ara. La causa d'això podria ser, en part, l'especificació del disseny..	B14) Fer el seguiment de les companyies que ens contacten per obtenir suport en el disseny a l'hora de transformar els seus residus en materials i productes valuosos. L'assaig següent es basarà en aquesta forma d'ús del procés (vegeu A9). Es pre-seleccionen 5 materials diferents. La companyia Aeropowder participarà com a soci col·laborador aportant material.	B15) El disseny per a la sostenibilitat impulsat pel material es pot utilitzar per crear valor a partir de residus?

	Estudiants Entorn educatiu >< Expert Entorn professional	C12) Tots els participants han seguit el procés i tots han produït un material i un producte nous d'acord amb l'especificació.	C13) Incloure dissenyadors professionals de Nike ha estat un factor de motivació i ha aportat feedback dels professionals.	C14) (Vegeu B14)	
	Sostenibilitat	D12) Tots els productes són compatibles amb una economia circular i la seva estètica ha millorat considerablement.	D13) L'adequació entre la funció d'un producte i el material està determinada en gran mesura per la sostenibilitat. És necessari un criteri d'avaluació més ampli de les característiques del material, que no estigui basat només en aspectes de sostenibilitat.	D14) Es lliuren als participants fulls d'avaluació basats en la informació proporcionada sobre els materials a la biblioteca de materials Material Connexion.	D15) Com afectarà el full d'avaluació el desenvolupament del material?
	Enfocament	E12) Independentment de l'enfocament, els participants tenen tendència a crear petites mostres de material.	E12) Les mostres de material planes només informen el dissenyador sobre mètodes de producció de potencial limitat, ja que no mostren com respon a corbes i cantonades.	E13) S'introdueix un subapartat d'"esbós en 3D" (5.2.2) en el procés.	
	Avaluació	F12) (Vegeu també A12) El resultat, generalment, és millor del que s'havia vist abans; principalment s'observa bona coherència entre el material i la funció del producte i els resultats es detallen a partir d'una profunda investigació del material. Els productes acaben sent conceptuals i amb prototips elaborats amb un material que senzillament representa una idea.	F13) Els resultats poden ser el reflex del procés que ara es desenvolupa més detalladament. Altres elements que poden influir en els resultats poden ser l'especificació (vegeu B13) i la influència dels dissenyadors professionals (C13). Dos productes acaben sent conceptuals. Això es deu, en gran mesura, a les limitacions de les instal·lacions a l'espai de feina.	F14) S'introdueix en el procés restriccions sobre el material utilitzat en el prototip final presentat (5.3.3).	
Assaig de disseny	Tema principal	Troballes	Reflexió		
5	Matèries primeres	A16) (Vegeu A8)	A17) Els materials per a l'assaig s'han seleccionat, en certa mesura, perquè adequin a les instal·lacions físiques. S'ha esgotat el potencial de l'actual programa d'investigació basada en els assajos de disseny en aquest emplaçament físic.		
	Usabilitat	B16) El procés es pot utilitzar per obtenir valor del material residual. Alguns dels resultats mostren que, amb mitjans relativament simples, és possible utilitzar els residus per a nous materials i productes. (Com ara plomes de pollastre)	B17) Tot i que els resultats són majoritàriament positius, els falta acabat, en alguns casos els materials no estan plenament desenvolupats i la qualitat del disseny és irregular. És obvi que els participants són estudiants (cap d'ells ho és de disseny de producte i només uns		

		moltes utilitzades per fabricar oueres, encenalls de fibra de cànem utilitzats per fabricar plantilles per a sabates).	quants ho són de moda). Per això, no tenen competències i coneixement sobre mètodes de producció. S'ha esgotat el potencial de l'actual programa d'investigació basat en els assajos de disseny amb aquesta categoria de participants.		
	Estudiants Entorn educatiu >< Expert Entorn professional	C16) El procés sembla que comporta un gran desafiament per als participants.	C17) (Vegeu B17)		
	Sostenibilitat	D16) Tots els productes són compatibles amb una economia circular. El full d'avaluació serveix d'eina d'avaluació i com a guia per a l'exploració del material.	D17) El procés és adequat per dissenyar per a una economia circular i per a la sostenibilitat. Es pot ajustar per enfocar-lo de forma específica a diferents aspectes de la sostenibilitat.		
	Enfocament	E16) Les restriccions introduïdes a F14 limiten els materials utilitzables a les instal·lacions físiques disponibles.	E17) Potser aquesta restricció hauria de ser en alguns casos opcional, ja que podria bloquejar la innovació.		
	Avaluació	F16) (Vegeu D16 i l'apartat 3.2 per als criteris d'avaluació finals).			
<p>* L'especificació demanava dissenyar un producte que s'ajustés a la col·lecció de Nike, amb un enfocament en l'estètica, el rendiment i la sostenibilitat.</p> <p>** Nike es va implicar en la presentació inicial del projecte (físicament present), en la sessió de Q&A intermèdia (a través de webinar) i per a la presentació i l'avaluació finals (físicament present).</p> <p>*** Entenent per adequat que es pugui reciclar o biodegradar totalment, però que també sigui adequat per a les instal·lacions físiques i les eines disponibles.</p> <p>**** Utilitzar disseny per a la sostenibilitat guiat pel material per produir un producte per a la col·lecció de Nike, amb un enfocament en l'estètica, el rendiment i la sostenibilitat.</p>					

Taula 2 mostra l'avenç del procés del disseny per a la sostenibilitat guiat pel material.