

# Cuando la materia conduce a la forma: el diseño guiado por el material y la sostenibilidad

En este artículo se argumenta que el proceso de diseño tradicional basado en la forma lleva a una falta de conocimiento de los materiales y, en consecuencia, crea una barrera de ignorancia entre el diseñador y el producto. Una barrera que no solo actúa contra la implementación de los denominados materiales avanzados y nuevas tecnologías, sino que además acaba convirtiéndose en un gran obstáculo para la creación de productos fabricados de forma industrialmente sostenible. Está surgiendo un nuevo tipo de diseño en el que el material se tiene en cuenta desde el inicio y puede considerarse incluso el impulsor de todo el proceso. Este proceso de diseño guiado por el material (MDD, Material Driven Design) rompe la mencionada barrera de ignorancia y ha demostrado su potencial de posibilitar un diseño para la sostenibilidad. Sin embargo, el simple hecho de empezar por los materiales no asegura por sí solo que el resultado vaya a ser sostenible.

Es por ello que el objetivo general de la investigación que motiva este artículo es el de definir las particularidades de un diseño para la sostenibilidad guiado por el material, con el fin de valorar hasta qué punto es posible diseñar un proceso que garantice unos resultados compatibles con la economía circular. La investigación se basa en la de un diseño constructivo, con un enfoque predominantemente de laboratorio y con elementos de un ámbito en el que se imagina una nueva realidad y se construye para probar si funciona o no funciona. Se llevaron a cabo cinco ensayos de diseño en los que el proceso de diseño guiado por el material se puso a prueba continuamente, se evaluó y se rectificó mediante la reflexión en acción. En total, el proceso se puso a prueba ciento dieciocho veces y lo hicieron estudiantes con la implicación de profesionales del diseño y especialistas de cuatro empresas e instituciones distintas. En este artículo se presenta el dilema de la relación entre forma y materia en los procesos del diseño contemporáneo oficial y se especifica el ámbito interdisciplinario en el que se sitúa el diseño para la sostenibilidad guiado por el material. Se describen el concepto y la metodología de un “ensayo de diseño” como método y los avances del proceso a lo largo de los cinco ensayos. Finalmente, se establece paso a paso el proceso del diseño para la sostenibilidad guiado por el material, incluidos los enfoques pertinentes para la experimentación. En este artículo se presenta un proceso de diseño que crea productos que, al llegar al final de su vida, son

## PALABRAS CLAVE

Diseño guiado por el material, diseño para la sostenibilidad, proceso de diseño, diseño de producto, economía circular, educación sobre el diseño.

## CÓMO CITAR

Bak-Andersen, Mette. 2018. “Cuando la materia conduce a la forma: el diseño guiado por el material (MDD, Material Driven Design) y la sostenibilidad” [When matter leads to form: Material-driven design for sustainability]. *Temas de disseny* 34: 10-31.

compatibles con la economía circular. El proceso no tiene que utilizarse necesariamente como un proceso de diseño autónomo, sino que puede combinarse con otros y ha alcanzado un punto en el que está lo bastante desarrollado como para probarse en un contexto industrial.

## 1 INTRODUCCIÓN

Si tenemos en cuenta que todos los materiales de fabricación humana que nos rodean están elaborados con elementos que existen de forma natural en nuestro planeta, puede parecer paradójico que utilizar estos mismos elementos para materializar y construir nuestra civilización pueda terminar siendo tan nocivo para el propio medio ambiente del que proceden. Y sin embargo, resulta evidente que debemos cambiar nuestra forma de hacer las cosas. Una estrategia para la sostenibilidad que está siendo adoptada por varios gobiernos e instituciones es la economía circular (Government of the Netherlands 2018; Su et al. 2013, 215-227; European Union 2018). Se trata de un sistema cerrado de uso de los materiales en bucle que abarca todo aquello que está elaborado por manos humanas (Pearce y Turner 1990; Ellen Mac Arthur Foundation 2018). Desarrollar la capacidad de diseñar para un sistema en el que un producto deba ser reciclado o biodegradado al final de su vida exige un profundo conocimiento de la composición y la compatibilidad de los materiales. La falta de conocimiento sobre los materiales crea, efectivamente, una barrera de ignorancia entre el diseñador y el producto. Una barrera que no solo actúa contra la implementación de materiales avanzados y nuevas tecnologías, sino que además se convierte en un gran obstáculo para la creación de productos sostenibles.

Durante las tres últimas décadas han ido surgiendo variaciones de un proceso de diseño centrado en los materiales, ideadas por investigadores y profesionales del diseño: un proceso en el que el material tiene un papel fundamental ya desde el mismísimo comienzo. La mayor parte de los investigadores implicados lo describen como *basado en el material o guiado por el material* (Karana et al. 2015, 35-54; Van Bezooyen 2013, 277-286; Hansen 2010; Oxman 2010) (este último es el término utilizado para describir la investigación en este artículo). La principal diferencia entre el proceso de diseño guiado por el material y los procesos más convencionales del diseño contemporáneo radica en que el diseñador tiene una función activa ya desde el comienzo en cuanto a diseñar, desarrollar o manipular el material que se está utilizando para el diseño, en lugar de limitarse a seleccionar un material que se adapte a la forma una vez concluido el proceso de diseño. Ya existen varios procesos de diseño concebidos teniendo en cuenta la sostenibilidad (Ceschin y Gaziulusoy 2016, 118-163), pero tienden a centrarse en un tipo de pensamiento sistémico (de modo que carecen de directrices específicas para diseñar productos) o a personalizarse según procesos de diseño convencionales en los que la selección del material es un elemento secundario.

Aplicar un proceso de diseño guiado por el material convierte al diseñador en experto en un determinado

material (Karana et al. 2015, 35-54), con el consiguiente potencial de ofrecerle un conocimiento esencial para diseñar para una economía circular. Sin embargo, aunque la investigación publicada sobre los procesos del diseño guiado por el material aporta valiosos argumentos sobre los beneficios de utilizarlo (como el de diseñar para unas experiencias materiales (Karana et al. 2015, 35-54), estimular la creatividad (Van Bezooyen 2013, 277-286) o ser más respetuoso con el medio ambiente (Oxman 2010)), los resultados obtenidos no son *por sí mismos* sostenibles ni compatibles con una economía circular. Para hacer realidad el potencial del diseño guiado por el material como proceso de diseño para la sostenibilidad que se traduzca en unos productos compatibles con la economía circular, se requieren determinadas acciones y consideraciones durante el proceso de diseño. Mi investigación tiene por objeto definir este proceso; poner a prueba el diseño guiado por el material como proceso de diseño para la sostenibilidad y su potencial aportación a un cambio sistémico en favor de una economía circular.

En este artículo se presenta el dilema de la relación entre forma y materia en los procesos del diseño contemporáneo oficial, así como los fundamentos del diseño guiado por el material (apartado 2). Se introduce la metodología de la investigación que conduce al desarrollo del proceso (apartado 3), seguida de los resultados y la discusión: una especificación del ámbito interdisciplinario en el que se sitúa el diseño para la sostenibilidad guiado por el material, ejemplos procedentes de la investigación y la práctica (apartado 4) y, finalmente, un proceso de diseño para la sostenibilidad guiado por el material, paso a paso, incluidos enfoques pertinentes para la exploración de materiales (apartado 5). Todo ello se sintetiza en una discusión sobre limitaciones y requisitos previos (apartado 6) seguida de las conclusiones (apartado 7).

## 2 LOS FUNDAMENTOS DEL DISEÑO GUIADO POR EL MATERIAL

Para entender el potencial de utilizar el diseño guiado por el material como proceso de diseño para la sostenibilidad es necesario comprender los principios subyacentes de este tipo de diseño en general y, desde luego, en qué se diferencia del proceso de diseño centrado en la forma, actualmente el oficial. Aunque las descripciones del diseño guiado por el material varían en la literatura, parece haber cierto consenso en entenderlo como un proceso en el que no se prioriza la forma sobre la materia y en el que el material no es algo que se introduzca simplemente para adaptarlo a una forma, sino que se define realmente (igual que en el diccionario) como: “materia de la que está hecha o con la que puede hacerse

una cosa (OED 2017)”. El diseño guiado por el material es un proceso de diseño que se inicia con la exploración del material o en el que se diseña, genera o desarrolla un material como parte del mismo proceso que determina la forma.

### 2.1 El dilema de la selección del material

Los procesos del diseño contemporáneo oficial incluyen distintos enfoques y estrategias sobre cómo llegar al producto terminado a partir de una idea inicial, pero raramente cuestionan la función del diseñador como creador de una forma y la del material como elemento que se selecciona y se adapta a esa forma. En varios libros, artículos y proyectos de investigación publicados se aborda la importancia crucial de seleccionar los materiales adecuados (Ashby y Johnson 2003, 24-35; Karana, Hekkert, y Kandachar 2010, 2932-2941; Van Kesteren, Stappers, y De Bruijn 2007). De igual modo, son varias las herramientas digitales que ayudan al diseñador a elegir su material (Ramalhete, Senos, y Aguiar 2010, 2275-2287). Si bien estas incluyen casi todos los criterios y características posibles, como el exhaustivo Cambridge Engineering Selector (CES), y la posibilidad o no de centrarse en los costes, el rendimiento o el impacto medioambiental, por lo general comparten un mismo rasgo: sirven predominantemente de apoyo para el diseñador como creador de la forma, mientras que el material es un elemento seleccionado más tarde para ajustarse a ella. Incluso las más extensas bibliotecas de materiales, como Material Connexion (Material Connexion 2018), Materia (Materia 2018) o MaterFad (Materfad 2018), están configuradas por lo general para ayudar al diseñador en un proceso en el que la forma es lo principal y el material, lo secundario. Exhiben una gran

variedad de nuevos y fascinantes materiales, pero suelen ser materiales terminados y comercialmente disponibles, a la espera de ser elegidos para un diseño.

Este conjunto de literatura, investigación, herramientas y colecciones de materiales representa un conocimiento muy valioso sobre tecnología de materiales, pero en el contexto de diseñar para una economía circular es un inconveniente cuando el material tan solo aparece en el proceso de diseño como algo terminado que se selecciona al final.

En gran medida, el material puede considerarse el ADN de un producto. Es aquello que define tanto sus propiedades táctiles como técnicas y decide de forma importante el método de producción. Es el material o la combinación de materiales de un producto lo que determina sus futuras opciones de reciclaje y/o biodegradabilidad. Así, si el material no participa en el diálogo sobre forma y función en el origen del proceso será difícil que el diseñador tome decisiones adecuadas; y no solo en términos de sostenibilidad. Dejar el material para el final del proceso o incluso en manos de terceros crea una barrera de ignorancia entre el diseñador y el producto final.

El diseñador que no entiende o no sabe cómo trabajar con los materiales de un producto está en muchos sentidos tan mal preparado como el chef que desconoce los ingredientes del plato que está cocinando. Cualidades como la innovación y la sostenibilidad no son aditivos que puedan inyectarse a un producto en el último minuto, lo que significa que si un producto no se diseña originalmente para cumplir con estos criterios difícilmente los cumplirá. A su vez, si los materiales deben ser un elemento central en el proceso de diseño, la complejidad y la cantidad actual de materiales



Fig 1. Muestras de exploración de un material de tela de pantalones tejanos para el que resulta difícil lograr la circularidad, puesto que el tejido es una mezcla de fibras naturales y sintéticas (algodón y elastano). (De un experimento de diseño guiado por el material previo al ensayo en 2014).





**Fig 2.** Imagen del proceso y del prototipo final. Este participante trabajó con madera procesada en forma de fibras y virutas y mezclada con caucho natural. Los materiales creados muestran excelentes propiedades y recibieron comentarios muy positivos por parte de los diseñadores de las empresas colaboradoras. Sin embargo, el material necesitaría desarrollarse más a fondo para que fuera lo bastante resistente para unos zapatos. Además, debido a esta aparente incompatibilidad entre el material y la funcionalidad del producto, el zapato en cierta medida reduce la percepción de valor del material. (Ensayo 4)

Número de ensayo	1	2	3	4	5
Año / duración	2015 / 3,5 semanas	2015 / 4,5 semanas	2016 / 3,5 semanas	2016 / 4 semanas	2017-18 / 7 semanas
Participantes	24 estudiantes de diseño mixto, 5.º semestre	26 estudiantes de diseño de moda, 6.º semestre	23 estudiantes de diseño mixto, 5.º semestre	24 estudiantes de diseño de moda, 6.º semestre	21 estudiantes de diseño mixto, 5.º semestre
Socios colaboradores		Nike Inc.	Biomimicry Institute e Instituto Tecnológico Danés	Nike Inc.	Aeropowder Ltd e Instituto Tecnológico Danés
Criterios para las materias primas utilizadas	Debían ser gratuitas y obtenidas localmente	Ninguna restricción	Se proporcionaron 5 materiales.	Materiales residuales de bioamasa gratuitos o de poco valor	Se proporcionaron 5 materiales.
Materiales utilizados	Cabello humano, piel de pescado, LDPE (de bolsas de plástico), algas, micelio, poso de café, serrín, pelus de patata, tejanos viejos, paja de tejado utilizada.	Recortes de cuero, tejido de poliéster reciclado, bambú, tejido de lana, algodón orgánico.	Fibras de cáñamo, pulpa de manzana (subproducto de la producción de sidra de manzana), paja de tejado utilizada, lana de ovejas de carne, cáscaras de huevo.	Nilón reciclado de residuos oceánicos, fibras y virutas de madera, piel de serpiente obtenida artificialmente, piel de pescado, recortes de cuero, leche para desechar fibras de cáñamo, lana de ovejas de carne, recortes de tejido de lana.	Plumas de pollo, algas, fibras de cáñamo, lana de ovejas de carne, pulpa de remolacha azucarera (subproducto de la producción de azúcar).

**Tabla 1.** Visión general de los cinco ensayos de diseño.

es comparable, en cierta medida, a un ensayo científico en el sentido de que incorpora indagación, observación y evaluación sistemáticas. Sin embargo, admite un enfoque para cada diseñador (Cross 2006) y acepta hallazgos que ni se prevén ni son cuantificables. Esto explica el término ensayo *de diseño*. Cada ensayo de diseño consta de una serie de experimentos y puede equipararse, hasta cierto punto, a una experimentación de diseño en serie (Krogh, Markussen, y Bang 2015, 39-50), aunque los experimentos tienden a ser evaluados individual y consecutivamente, y no están concebidos para probar la adecuación de algo en un contexto específico. El ensayo de diseño fue un método para probar el proceso en acción.

La versión temprana de un proceso de diseño para la sostenibilidad guiado por el material que se probó en el ensayo 1 se basaba en anteriores ensayos de diseño basados en la práctica. En esa etapa, el proceso era relativamente poco sistemático y en su mayor parte se centraba en analizar los valores del material en términos de experiencia. Los resultados fueron a menudo creativos y generados con materiales inusuales. Sin embargo, eran sobre todo artísticos y, por ello, no siempre resultaban funcionales ni compatibles con una economía circular (se ilustran en la figura 1). El único marco explícito para el ensayo 1 fue una restricción en las materias primas: debían obtenerse gratuitamente y localmente. Posteriormente, las acciones y preguntas específicas para cada ensayo sucesivo han consistido en una serie de respuestas estructuradas sobre los hallazgos y reflexiones de los ensayos previos. En las tablas 1 y 2 se presenta una visión general de estos avances. La ejecución de los cinco ensayos tuvo lugar en el Laboratorio de Diseño de Materiales de la Escuela de Diseño y Tecnología de Copenhague, un espacio concebido para probar, explorar y diseñar materiales. Los datos se recopilaron principalmente a partir de la evaluación de los resultados (los productos creados) pero también, en buena medida, mediante la observación y conversando con los participantes y los socios colaboradores del sector. La documentación se elaboró

a partir de textos y fotografías, pero también con muestras de materiales y prototipos creados durante el proceso. En la tabla 1 se ofrece una visión general de los ensayos presentados. En la tabla 2 se muestra el avance del proceso del diseño para la sostenibilidad guiado por el material, mediante un método de indagación y análisis basado en la reflexión en acción (Schön 2017).

### 3.3 La evaluación

La evaluación se centra en los productos creados en pruebas del proceso, porque los productos son los principales indicadores que reflejan la idoneidad del proceso. Los criterios específicos para la evaluación evolucionaron simultáneamente al desarrollo del proceso (véase la tabla 2). Los aspectos siguientes se consideran obligatorios para la evaluación pero, dependiendo del enfoque de la especificación en cuestión y del tipo de proyecto para el que se utilice el proceso, se puede dar más importancia a distintos ensayos. La evaluación comienza centrando el interés en la materia prima utilizada. Deben definirla una o varias de las características siguientes:

1. Totalmente biodegradable
2. Totalmente reciclable
3. Material residual para reciclar
4. Renovable
5. Compostable
6. Recurso abundante (debe combinarse al menos con el elemento 1 o el 2).
7. Producción socialmente responsable (debe combinarse al menos con el elemento 1 o el 2).

Al evaluar el producto final, lo principal es la circularidad del material, de ahí que el producto deba ser:

1. Totalmente biodegradable
2. Totalmente reciclable
3. Diseñado para poder desmontarse (en componentes que sean compatibles con el elemento 1 y el 2).

plantean la cuestión de cómo afectan al ámbito del diseño y al núcleo del proceso de diseño. Esta cuestión se aborda en los apartados 4 y 5.3

## 3 METODOLOGÍA

La investigación que condujo a los resultados presentados en este artículo se basa principalmente en métodos cualitativos. Se llevó a cabo como una “investigación a través del diseño” (Frayling 1993) o, para ser más precisos, una investigación de diseño constructivo (*constructive design research*) con un enfoque predominantemente de laboratorio y elementos del campo (Koskinen et al. 2011). El objetivo de la investigación era el de crear un proceso de diseño compatible con una economía circular. Esto convierte el proceso de diseño en objeto de la investigación, de modo que dicho proceso puede entenderse, metodológicamente en el contexto de la investigación, como un prototipo de investigación. El proceso ha evolucionado durante más de 10 años. Al principio, en mi práctica del diseño, con la experimentación en la que el diseño se utilizaba, según la definición de Simon, para cambiar una situación existente por una preferida (Simon 1988, 67-82), y después, desde 2015, indagando sistemáticamente mediante la investigación del diseño constructivo para imaginar una nueva realidad y construirla con el fin de comprobar si funcionaba (Koskinen et al. 2011).

El diseño para la sostenibilidad es increíblemente complejo y, por ello, “malvado” (Rittel y Webber 1973, 155-169) y complicado a partes iguales. Schön describe esta situación como una llanura pantanosa y argumenta que solo concentrándonos en los problemas relativamente insignificantes desde los terrenos más elevados y sólidos que miran hacia la llanura es posible mantener el racionalismo técnico. Sin embargo, los problemas que más preocupan a la humanidad (en este caso, la sostenibilidad) se encuentran en la llanura

pantanosa y exigen un tipo de indagación que no es susceptible de métodos cuantificables, sino que requiere lo que él define como reflexión en acción (*reflection-in-action*) (Schön 2017). Esto afecta tanto a los métodos como al diseño de la investigación.

### 3.1 Diseño de la investigación

Esta investigación se presenta como una investigación ejemplar sobre el diseño guiada por programas y experimentos. El programa puede entenderse como una estructura que sirve de marco y de cimientos para una serie de experimentos e intervenciones en torno al diseño. Binder y Redström definen “ejemplar” como aquello que permite “la divulgación crítica mediante ejemplos de lo que podría hacerse y cómo, es decir, ejemplos que expresan tanto las posibilidades del programa de diseño como sugerencias más generales sobre (un cambio en) la práctica del diseño” (Binder y Redström 2006). La dialéctica entre experimentos y programa está bien descrita (Brandt et al. 2011; Redström 2017). En esta investigación, la experimentación dominó inicialmente e informó el programa, pero al final el programa tomó la delantera (véase la tabla 2 al final del artículo, A17 y B17).

El diseño de la investigación se centró en cinco ensayos de diseño, cada uno formado por una serie de experimentos, en los que se probaba un proceso de diseño que sirviera como proceso de diseño para la sostenibilidad guiado por el material. Schön escribe acerca de la investigación reflexiva y la reflexión en acción como una forma de reflexionar sobre los hallazgos y decidir las acciones siguientes (Schön 2017). El trabajo aquí expuesto puede interpretarse también en esos términos y se describirá con mayor detalle más adelante.

### 3.2 Los ensayos de diseño

Un ensayo es “una prueba, normalmente durante cierto plazo de tiempo, para descubrir la eficacia o la adecuación de algo o alguien” (OED 2017). El “ensayo de diseño” creado como método para el proyecto de esta investigación



Fig 3. Un participante presentando su producto final, un zapato elaborado con recortes de cuero, a los diseñadores profesionales de la empresa colaboradora, Nike. (Ensayo 2)

4

#### DISEÑO PARA LA SOSTENIBILIDAD GUIADO POR EL MATERIAL: EL ÁMBITO

En la evaluación del producto final también se tienen en cuenta aspectos adicionales como toxicidad, durabilidad, peso, estética, significado y huella de carbono. Algunos criterios de evaluación son cuantificables. Así, por ejemplo, es posible medir cuánto tiempo tarda algo en biodegradarse. Sin embargo, la sostenibilidad siempre es relativa al contexto, de modo que el objetivo principal del material es que sirva para la función del producto. Esto supone que en algunos casos se considerará una cualidad que el proceso de biodegradación del material sea rápido, mientras que en otros, cuando un producto se diseña para durar varios años, será importante que el material sea duradero y su biodegradación sea muy lenta. De modo parecido, el peso puede ser un problema para la sostenibilidad cuando se requiere transporte de larga distancia, pero puede ser una característica positiva para la funcionalidad del producto. Una huella de carbono duradera puede ser más aceptable para una cuchara de acero inoxidable que va a durar toda una vida que para una cuchara de almidón de maíz biodegradable que va a ser utilizada durante menos de una hora y, después, desechada. La importancia de la relación entre material y función se ilustra en la figura 2.

Los aspectos que pueden ser difíciles de medir, pero que son de extrema importancia para la sostenibilidad, son el significado y la estética. Un material puede tener excelentes propiedades técnicas y puntuar alto en todos los demás parámetros de sostenibilidad, pero no ser aceptable para los usuarios por tener connotaciones que resulten ofensivas para ellos. Un ejemplo serían los productos elaborados con cabello humano en el ensayo número uno (véase la tabla 1). En cambio, cuando el usuario considera que un producto es estéticamente atractivo o percibe los materiales como valiosos, entonces establecerá un vínculo emocional que asegurará el cuidado y la durabilidad del producto (Harper 2015).

En los ensayos 2 y 4, que se concibieron para probar el proceso con una especificación concreta, diseñadores profesionales de la empresa colaboradora participaron en la evaluación (véase la figura 3). En el apartado siguiente se presentan un mapa del ámbito y el proceso del diseño para la sostenibilidad guiado por el material. Ambos se basan en los fundamentos teóricos presentados en el apartado 2 y en los hallazgos de los cinco ensayos de diseño presentados en el apartado 3.2.

En el diseño para la sostenibilidad guiado por el material, la creación y la manipulación del material son fundamentales. Aunque distintos especialistas puedan contribuir a esta parte del proceso, su principal responsable es el diseñador. Podría argüirse que esta tarea es propia de un experto en ciencia de materiales, pero algunas investigaciones indican que el desarrollo de nuevos materiales no se limita a investigaciones altamente científicas con especificación previa de los resultados. Los científicos de materiales más influyentes señalan que sería ideal que la investigación de materiales fuera interdisciplinaria. Encontramos un ejemplo de ello en la investigación y el trabajo del científico de materiales Mark Miodownik. Tanto en el Institute of Making (University College London 2018), del que es director, como en su investigación, trabaja en el desarrollo de las propiedades físicas y estéticas de los materiales recuperando lo que él percibe como una colaboración mutuamente gratificante entre el arte y la ciencia (Miodownik 2003, 36-42; Miodownik 2005, 506-508; Miodownik 2007, 1635-1641). Encontramos ideas similares en la investigación de Cyril Smith sobre la histórica interacción entre ciencia, arte y tecnología. Él ha documentado cómo el interés de la industria del arte aceleró durante siglos el conocimiento científico e impulsó el desarrollo tecnológico. Un argumento importante es que la clasificación de una actividad como ciencia, tecnología o arte es relativamente reciente (Smith 1970, 493-549). De forma parecida, el científico de materiales Mike Ashby y la diseñadora Kara Johnson señalan el potencial que se abre cuando los principios de la ciencia de materiales y de la tecnología se fusionan con otras especialidades como la ingeniería, la química, la biotecnología y la ciencia de la información (Ashby y Johnson 2003, 24-35).

Teniendo esto en cuenta, un proceso de diseño guiado por el material puede considerarse inherentemente interdisciplinario, lo que afecta a su ámbito, tanto en términos de constitución como de método. A partir de la base teórica presentada en este apartado y los hallazgos de los ensayos, el ámbito del diseño para la sostenibilidad guiado por el material puede describirse como un ámbito interdisciplinario que, idealmente, implica el arte, la tecnología y las ciencias naturales (figura 4). El arte aporta cualidades como

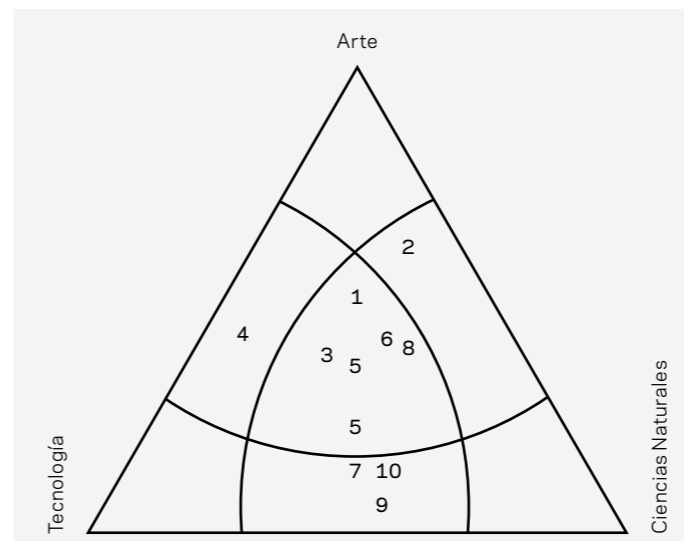


Fig 4. El ámbito interdisciplinario del diseño para la sostenibilidad guiado por el material implica el arte, las ciencias naturales y la tecnología. Los números indican la colocación de los diferentes ejemplos de diseño guiado por el material del apartado 4.1..

la estética, la forma, los valores experimentales y la sensación táctil. La tecnología ofrece herramientas, técnicas y un fuerte vínculo con la producción industrial, mientras que las ciencias naturales aportan la composición del propio material y poseen muchas respuestas cuando se trata de resolver la compatibilidad con una economía circular y los cambios tecnológicos. Como se puede observar en los ejemplos del apartado siguiente, algunos profesionales e investigadores de este ámbito se sitúan a sí mismos en el centro, con una equilibrada representación del arte, la tecnología y las ciencias naturales. Otros mantienen un fuerte vínculo con uno o dos componentes pero carecen de este equilibrio. (Véanse los números 1, 2, 3,... en la figura 4.)

#### 4.1 Ejemplos de la investigación y la práctica

En este ámbito están trabajando tanto investigadores como diseñadores. Todos los ejemplos siguientes pueden considerarse diseño guiado por el material con el objetivo de crear un resultado sostenible, aunque su creador no necesariamente los defina de forma explícita como diseño guiado por el material.

El trabajo de la diseñadora de moda Suzanne Lee demuestra que el diseño puede incluir disciplinas como la ciencia, al estudiar el uso de cultivos vivos de microorganismos como la levadura y las bacterias para transformar materiales biológicos como la celulosa en materiales compostables sostenibles y en productos para la moda (Lee 2018) (posición 1, figura 4). De forma similar, pero más artística, la diseñadora Carole Collet explora la fusión entre biología y diseño en lo que denomina biofabricación (*biofacturing*) (Collet 2012) (posición 2, figura 4). Sin embargo, el proyecto es principalmente conceptual, por lo que carece del componente tecnológico. En consecuencia, no se sitúa en el centro.

El premio de diseño holandés New Materials Award (Het Nieuwe Instituut, Fonds Kwadraat, y Stichting doen 2018) se presenta como “en la vanguardia de la ciencia, el diseño, el arte y la tecnología”. Tiene por objeto retar a los participantes a pensar más allá de su propia disciplina al aplicar nuevos materiales y buscar soluciones sostenibles

para el futuro. Muchos de los proyectos nominados pueden describirse como diseño para la sostenibilidad guiado por el material. Un buen ejemplo es la silla micelio de Eric Klarenbeek, producida con impresora 3D. La materia prima de base son residuos vegetales y micelio utilizado como “pegamento vivo” (Klarenbeek 2018) (posición 3, figura 4). Una artista que está utilizando la impresión 3D en un proceso de diseño guiado por el material es la arquitecta Neri Oxman. En su tesis “Material Based Design Computation” describe su proceso como una forma natural de diseñar y construir, un proceso en el que el material es siempre anterior a la forma. Señala que las primeras formas de artesanía y algunas de las innovaciones más recientes en ciencia e ingeniería de materiales aplican un enfoque basado en el material en el que este tiene la función de ser la sustancia de la forma, y no tanto el progenitor de la forma (Oxman 2010). Al partir de la investigación sobre materiales y del biomimetismo, su uso de los materiales en los primeros proyectos parecía definido sobre todo por los límites de la fabricación digital. Un ejemplo de ello podría ser el proyecto “Pneuma”, inspirado por animales filo poríferos como las esponjas (Oxman 2018) (posición 4, figura 4). La esponja sirve de inspiración estructural y mecánica, pero el material utilizado para la fabricación no guarda relación con ella. Así que, a falta del componente de las ciencias naturales, no se sitúa en el centro. Sin embargo, Oxman ha empezado a diseñar materiales y a adaptar las impresoras para que se adapten al material. Un ejemplo es la impresora 3D que ha construido con su equipo para adecuarla a la pasta de quitina elaborada con grandes cantidades de conchas de crustáceos (Mogas-Soldevila 2015) (posición 5, figura 4). La producción digital puede añadir un mayor grado de complejidad y detalle al producto final, pero el diseño para la sostenibilidad guiado por el material no tiene que ser necesariamente tan complejo tecnológicamente como el trabajo de Oxman o Klarenbeek. Un buen ejemplo son los diseños de Maurizio Montalti (Montalti 2018) basados en micelio, obtenido simplemente dejando generarse el material en un molde (punto 6, figura 4).

Algunas de las investigaciones más innovadoras sobre diseño y materiales publicadas en los últimos años no proceden del mundo del diseño sino de la biotecnología. Se trata de la investigación sobre creación de materiales partiendo de la biología sintética y de la investigación sobre diseño de materiales de la biología (Weiner, Addadi, y Wagner 2000, 1-8). Contextos en los que la biotecnología está entrando en el ámbito del diseño y, en algunos casos, se está acercando al diseño para la sostenibilidad guiado por el material. Algunos ejemplos de ello son la seda de abejas obtenida sintéticamente que desarrollaron Tara Sutherland y su equipo del CSIRO en Australia (Sutherland et al. 2010, 171-188) (posición 7, figura 4) y la exposición “Grow Your Own – Life After Nature” en la que se presentaron varios ensayos de diseños comenzando por la implementación de ADN en bacterias y la codificación del material para obtener el producto final (Dublin Science Gallery 2017) (posición 8, figura 4). La Bio Academy o “How to grow almost Anything” (“Cómo generar casi cualquier cosa”) es un curso sobre biología sintética dirigido por George Church, profesor de genética en la facultad de medicina de Harvard (Church 2018). Este podría ser el trampolín hacia una versión muy avanzada del diseño para la sostenibilidad guiado por el material. Sin embargo, a pesar de que el programa está



Karana et al. describen como “con el tiempo, el diseñador que adopta el enfoque del diseño guiado por el material (Material Driven Design, MDD: una forma de diseñar para experiencias materiales) podrá llegar a ser un experto en un material concreto; sabrá cómo se comporta el material en distintas circunstancias y cómo reacciona al someterlo a diferentes técnicas de fabricación o procesos de producción” (Karana et al. 2015, 35-54). Esto puede considerarse una ventaja mutua para un proceso de diseño en el que “el material ha sido trasladado del final del proceso de diseño al primer paso de este y en que, a través de la exploración práctica y la elaboración de prototipos con el material, se generan y concretan las ideas” (Van Bezoooyen 2013, 277-286). Así, independientemente de la motivación para utilizar un determinado proceso de diseño para la sostenibilidad guiado por el material, y casi por definición, un proceso de diseño como este, en el que el material está presente y se explora desde el principio, eliminará la barrera de la ignorancia que mencionábamos al comenzar este artículo. A pesar de todo, este tipo de proceso no garantizará automáticamente un resultado sostenible. Ni siquiera siendo tan exhaustivo y bien definido como el MDD de Karana et al.

Como puede verse siguiendo el proceso que va de DI a DI7 en la tabla 2, se requieren acciones explícitas a lo largo de este para asegurar que el producto sea compatible con una economía circular. Los principales componentes del proceso relacionados con la sostenibilidad son la comprobación inicial de la circularidad (5.2.1), los requisitos sobre la investigación del impacto social y medioambiental de la materia prima, antes de decidir si la materia prima es adecuada para el proceso (5.2.2), la investigación de la composición química (5.2.3), el diseño de la biodegradabilidad, el reciclaje y/o el desmontaje en la manipulación del material (5.3.1) y otras cuestiones más subjetivas, como entender el valor (5.2.5) y el significado cultural e histórico de una materia prima (5.2.4), algo que no es cuantificable, pero sí muy importante, puesto que un producto elaborado con una materia prima percibida como de poco valor o culturalmente inaceptable podría conllevar la ausencia de conexión emocional del usuario, lo que afectaría a la longevidad del producto (véanse F9-F11, tabla 2).

### 5.1 Variaciones

El proceso puede utilizarse de distintas formas y, en la mayoría de los casos, es probable que los diseñadores trabajen con una especificación concreta. En esta situación, la investigación, la exploración y el diseño del material deberían centrarse en la función que deberá cumplir el producto final (véase la tabla 2, B13). Utilizar el proceso con una especificación de diseño concreta se probó en los ensayos 2 y 4, con la colaboración de la empresa Nike. En las figuras 2, 3, 8 y 9 se ofrecen ejemplos de los resultados de esta variación del proceso.

También es posible utilizar el proceso de una forma más abierta y exploratoria en la que las cualidades del material determinan en gran medida tanto la función como la forma de un producto adecuado. Una variación que puede



**Fig 6.** Hannah Michaud fue una de las participantes del ensayo 2 y se proponía crear una empresa basada en los materiales y productos que ella diseñaba. Inicialmente topaba con la dificultad de su formación académica como diseñadora de moda e insistía en que su material debía utilizarse en productos de moda. Finalmente, después de más de un año, aceptó que si cambiaba su enfoque para dirigirlo al sector del embalaje su material ganaba muchísimo valor. En 2017, Michaud recibió el premio danés “Ivækst” por su trabajo.

resultar pertinente cuando el objetivo es explorar el valor y el uso de determinados materiales. Podría tratarse de materiales de desecho como los probados en los ensayos 3 y 5 (véanse las tablas 2 B14-B16 y la figura 5), en los que se presentaron cinco productos derivados locales específicos como materia prima. Como continuación de ambos ensayos, el Instituto Tecnológico Danés aportó apoyo técnico adicional a los estudiantes que quisieran continuar con su material y su producto. Un ejemplo fue el de Hannah Michaud (2018), del ensayo 2 (figura 6). Utilizar así el proceso podía también servir para explorar otros tipos de materiales, como nuevas materias primas producidas en laboratorios. En los subapartados siguientes se presenta paso a paso el proceso del diseño para la sostenibilidad guiado por el material.

### 5.2 Primer paso: investigación de materiales

A través de la investigación profunda y la exploración práctica se definen las características de una materia prima.

#### 5.2.1 Comprobación de la circularidad

Desde el principio es esencial identificar si la materia prima que se tiene a mano es adecuada para el proceso. Es necesario que el material sea biodegradable y/o totalmente reciclable. Además, no debe contener toxinas procedentes de ciclos de vida anteriores.

#### 5.2.2 Fuentes

La investigación de materiales requiere estudiar las fuentes del material: si se extrae de excavaciones, se cultiva o se produce, y quién lo hace. Esta información es esencial para decidir si el material es o no adecuado para el proceso, desde un punto de vista ético, social y medioambiental. Por motivos prácticos, también es necesario estudiar el abastecimiento, en especial si la disponibilidad del material es estacionaria. Estudiar el uso presente ayudará a entender qué potencial puede tener en el futuro. A menudo esto supone fijarse en otros sectores, como la agricultura o las industrias alimentaria y médica. En caso de nuevos materiales o nueva tecnología de materiales, la información pertinente podría encontrarse tan solo en fase de investigación, por lo que sería necesario buscar

otros datos en publicaciones científicas ajenas al ámbito del diseño.

#### 5.2.3 Composición

Parte de la exploración inicial debe consistir en un examen más científico, para conocer los fundamentos de la composición del material y su compatibilidad circular con otros materiales. Es necesario estudiar la composición química y puede ser útil examinar el material con herramientas científicas para identificar sus pautas y estructura.

#### 5.2.4 Investigación histórica y antropológica

Un elemento importante para conocer el material es investigar cómo utilizaban la materia prima en el pasado diferentes culturas y cómo se manipulaba, procesaba y trataba. Esto suele llevar a inspirarse en técnicas y procesos tradicionales, lo que puede ser útil al trasladarlo al contexto de fabricación moderno. A menudo existen relatos históricos sobre el uso del material que pueden aportar un valor emocional al diseñador y al usuario.

#### 5.2.5 Valor

Desde luego es importante identificar el valor monetario del material, pero tan importante es también el valor percibido por un usuario potencial, ya que ciertos materiales que pueden tener buenas propiedades técnicas podrían ser percibidos, por motivos tradicionales o culturales, de forma negativa por el usuario.

#### 5.2.6 Exploración práctica

La exploración es el primer paso del proceso e incluye una investigación práctica del material para ver cómo responde a los cambios en cualquier situación imaginable, tanto desde la perspectiva técnica como sensorial. Describir la experiencia experimental del material, por ejemplo un tacto suave o un aroma peculiar, es tan importante como definir la especificación técnica calculable, como la resistencia al fuego, la biodegradabilidad o la impermeabilidad. Ambos aspectos forman parte de la identificación de las cualidades intrínsecas de la materia prima.

*5.3 Segundo paso: manipulación y diseño del material*

adscrito a la comunidad FabLab, al menos por ahora, carece aparentemente del componente de arte (posición 9, figura 4).

Se observan similares reflexiones y enfoques sobre los materiales y el diseño en varios laboratorios de *bio-hacking* como “Genspace”, el biolaboratorio comunitario de Nueva York, donde profesionales de la biotecnología y programadores comienzan a trabajar con materiales y diseño en un nivel muy avanzado (Kean 2011, 1240-1241). La biotecnología hace posible utilizar sistemas y organismos vivos y casi cualquier fuente de biomasa para desarrollar o producir productos. Es algo que se aplica ampliamente en la agricultura, la producción de alimentos y la medicina. Al utilizarse para desarrollar nuevos materiales, podría contener un gran potencial para hacer prosperar el ámbito del diseño guiado por el material. El valor de jugar con el diseño y los materiales está bien descrito (Wilkinson y Petrich 2013; Rognoli et al. 2015, 692-702). La actividad en algunos de los laboratorios de biofabricación y espacios menos oficiales puede definirse como jugar con la biotecnología para crear nuevos materiales.

Tal y como demuestran estos ejemplos, un caso ideal de diseño para la sostenibilidad guiado por el material es aquel que logra el equilibrio entre arte, tecnología y ciencias naturales. Cuando el arte está excesivamente representado, el resultado puede carecer de funcionalidad y usabilidad (por ejemplo, posición 2, figura 4), pero cuando el arte está ausente, el resultado carece de valores sensoriales, resulta insulso y difícil de llevar a la práctica (por ejemplo, posición 9, figura 4). Cuando las ciencias naturales predominan excesivamente, el resultado tiende a resultar incomprensible para los diseñadores y la industria, difícilmente aplicable a productos de uso general. En cambio, cuando están ausentes, el resultado raramente será compatible con una economía circular (por ejemplo, posición 4, figura 4). Y cuando impera la tecnología, entonces los productos –que pueden llegar a ser muy complejos tecnológicamente– se percibirán como insulsos y mecánicos. Por otro lado, en ausencia de la tecnología, los resultados no suelen ser aptos para la producción industrial. Así, el equilibrio entre estos tres ámbitos es importante en el diseño para la sostenibilidad guiado por el material. Partiendo de esta base, los fundamentos teóricos presentados en el apartado 2 y los resultados de los cinco ensayos de diseño presentados en el apartado 3, se han desarrollado los siguientes procesos de diseño.



**Fig 5.** Presentación de las materias primas a los participantes del ensayo 3 (véase la tabla 1 para más detalles).





Fig 7. Un participante explorando las texturas y estructuras de las plantas y estrategias de supervivencia en el jardín botánico de Copenhague. (Ensayo 3)

Aplicar el máximo posible de técnicas, herramientas y procesos pertinentes proporciona un conocimiento integral del potencial del material y permite al diseñador manipular creativamente el diseño del material para adecuarlo a los requisitos específicos de la función, la forma o la expresión estética.

#### 5.3.1 Manipulación

Con la información obtenida sobre el material en el primer paso, el diseñador tiene la base necesaria para comenzar la manipulación del material y transformarlo en algo nuevo. Ello requiere aplicar tratamiento mecánico y químico para obtener unas buenas propiedades y suele conllevar la dificultad de encontrar sustancias ligantes compatibles, desde el punto de vista de la sostenibilidad, así como adaptar o construir herramientas aptas para el material. El material y el producto deben diseñarse para ser biodegradables o reciclables o desmontables. En esta fase ya suele resultar evidente qué condición de estas cumplirá. Es posible mezclar materiales biodegradables en un compuesto sin comprometer las posibilidades de biodegradación, pero trabajar con materiales para reciclar significa por lo general limitarse a monomateriales o diseñarlos para que sean desmontables.

#### 5.3.2 Bocetos en 3D

El valor de los bocetos en el proceso de diseño es bien conocido (Cross 2006; Goldschmidt 1991, 123-143). Lo ideal sería que el boceto de un diseño para la sostenibilidad guiado por el material se elaborara con el material y, en consecuencia, en 3 dimensiones desde el principio. El diseño del material es el primer paso para llegar a la forma y en esta fase del proceso debería centrarse en las distintas posibilidades de transformar el material en una estructura o forma tridimensional.

#### 5.3.3 Abordar las debilidades

Los distintos materiales poseen distintas propiedades intrínsecas, pero es importante no aceptar debilidades innecesarias. Así, identificar y abordar aspectos como la fragilidad o el poco atractivo estético o aromático es crucial en este punto del proceso.

#### 5.3.4 Potenciar las fortalezas

El valor de un material está en sus fortalezas (desde el punto de vista técnico y de experiencia) y estas van a ser importantes más tarde para la calidad del producto, de modo que habrá que esforzarse ahora para potenciarlas.

#### 5.4 Tercer paso: desarrollo del producto

El proceso de diseño guiado por el material no es estrictamente lineal, sino que puede considerarse un diálogo constante entre el material, la función y la forma. Por ello, el material raramente está terminado del todo antes de comenzar el desarrollo del producto y es muy probable que necesite pequeños ajustes para adaptar su función y su forma.

#### 5.4.1 La forma y la función

Es en esta fase cuando comienza a tomar forma el producto real. En este punto, el material debería cumplir

los requisitos de la especificación de diseño. Si el proceso se utiliza más abiertamente para explorar el valor de un material, es ahora el momento de decidir una función que le resulte adecuada.

#### 5.4.2 Elaboración manual para fabricación digital

Diseñar un objeto físico según un proceso de diseño guiado por el material requiere la misma consideración laboriosa sobre forma, función y usabilidad que otros procesos de diseño. Sin embargo, como en este proceso el diseñador también diseña y manipula el material, aparece la oportunidad de simplificar y optimizar el camino que lleva de la materia prima al producto terminado. Dependiendo de la instalación física disponible, el prototipo podría producirse manualmente en buena medida. Sin embargo, cuando pase a producción es probable que esta sea de tipo industrial, con los medios de la moderna tecnología y, en consecuencia, normalmente va a mejorar en términos de acabado, además de reducirse considerablemente el tiempo de producción. Es importante tenerlo en mente al crear el prototipo: un prototipo tejido manualmente en un telar casero probablemente será fabricado, en la fase de producción industrial, mediante tecnología CAD/CAM de tejido en 3D.

#### 5.4.3 Presentación del prototipo

Cuando el proceso de diseño guiado por el material está terminado, el diseño se presenta a escala 1:1 con el material. Esto ofrece la imagen más real posible de las propiedades técnicas, sensoriales y funcionales del producto. En algunos casos, si el producto es de grandes dimensiones, puede presentarse un fragmento. En este caso, es importante elegir un fragmento que demuestre la adecuación de los materiales para el producto.

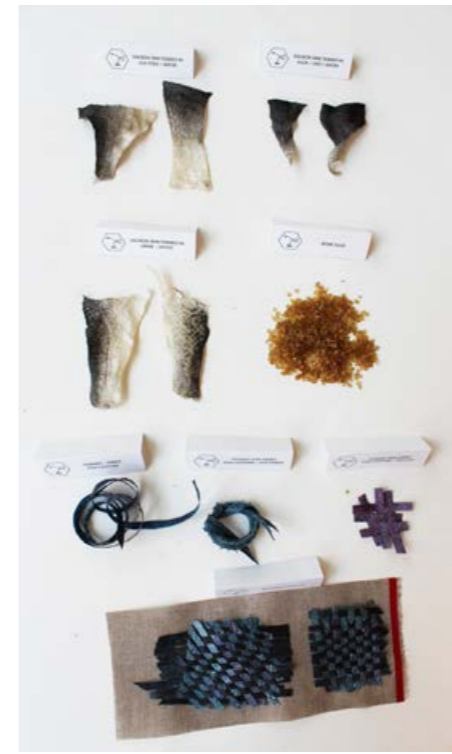
#### 5.5 Tres enfoques sobre la exploración de materiales

Tal y como se describe en el apartado 4, lo ideal es que la exploración de materiales sea interdisciplinar. Esto afecta a los enfoques del diseño para la sostenibilidad guiado por el material. Así, sería perfecto que se aplicaran tanto los métodos fenomenológicos basados en los sentidos que, tradicionalmente, se han empleado en el arte y el diseño, como los métodos científicos que implican experimentación, cálculo y observación sistemática. Desde los primeros ensayos se hizo evidente que este equilibrio no se daba de forma natural en la mayoría de los participantes y, en consecuencia, estas directrices que incluyen tres enfoques adecuados fueron establecidas finalmente a partir del ensayo 3 (véanse E1-E17 y D6-D10 en la tabla 2 para más detalles sobre el desarrollo).

#### 5.5.1 El enfoque fenomenológico

Existe cierta tendencia en las profesiones artísticas a adoptar un enfoque fenomenológico, incluso sin ser explícito o si el participante no está versado en el método. La prueba y la exploración del material suelen basarse en experiencias subjetivas y en su percepción inmediata. Este proceso puede ser sistemático, pero es





**Fig 8.** Imagen del proceso y del prototipo final. Este proyecto se basaba en estudios sobre las propiedades de la piel de las serpientes y como generarla artificialmente. A pesar de la fuerte conexión con las ciencias naturales, el proyecto se alejó mucho del ámbito de las ciencias naturales, simplemente porque el participante no tenía los medios ni las instalaciones necesarios para explorar el potencial de producir este tipo de material. Como consecuencia, el proyecto terminó en una declaración de lo que podría haber sido, estimulante para el pensamiento pero no necesariamente fruto de un diseño para la sostenibilidad guiado por el material. (Ensayo 4)

más habitual que se base en estudiar y desarrollar libremente las propiedades técnicas y sensoriales a través de la manipulación y exploración creativa del material, basada en los sentidos. Las reflexiones durante el proceso de diseño abordan normalmente aspectos de la experiencia, como el olor del material, su tacto y su comportamiento y qué asociaciones podría despertar en el usuario. Esto llevará al diseñador a considerar aspectos como la estética y la percepción cultural del material, y será normalmente a través del enfoque fenomenológico cuando el diseñador comenzará a jugar con el material. Los errores y los resultados imprevistos son habituales y pueden resultar muy útiles. Un ejercicio inicial para estimular el enfoque fenomenológico puede incluir, por ejemplo, anular nuestra visión al presentar los materiales. Así, por ejemplo, se tapa los ojos a los diseñadores, se les presentan varios materiales y se les pregunta si lo que están tocando es sostenible o de buena calidad. Ambas características dependerán en gran medida de cómo se utilice el material, pero el ejercicio ayuda a que nos percatemos de lo subjetiva y sesgada que es nuestra experiencia del material.

#### 5.5.2 El enfoque científico

Son muchas las cosas que no se pueden calcular y describir con datos. Pero actuar sistemáticamente y registrar todos los pasos permite un proceso mucho más eficiente. Proporciona la información necesaria para repetir o elaborar pruebas tempranas y los datos que se requieren para la evaluación técnica comparativa de diferentes muestras del material. Una indagación más científica durante el proceso se relacionará normalmente con cuestiones como el rendimiento o las características del material y en

cómo calcularlos. Así, por ejemplo, si la biodegradabilidad del material es un rasgo importante para el producto, ¿cómo puede probarse y mejorarse ajustando la composición química? O si la resistencia a la tensión es crucial para la función del producto, ¿cómo afectarán al resultado diferencias en la longitud de las fibras y la ratio entre los ligantes y las fibras? Calcular y documentar cada paso de un ensayo o un proceso pareció poco natural a la mayor parte de los participantes en los ensayos y, aparte de las charlas y las demostraciones, resultó ser útil introducir herramientas prácticas como los diarios de laboratorio y requisitos sobre el etiquetado y asegurar la sistematización y la precisión en el desarrollo del material.

#### 5.5.3 El enfoque del biomimetismo

El biomimetismo, según se entiende aquí, consiste en aprender de las formas, los procesos y los ecosistemas de la naturaleza para después emularlos y crear diseños más sostenibles (Baumeister 2014). La naturaleza es un tesoro de soluciones sostenibles sobre diseño de materiales y estructuras de organismos, optimizados por su entorno y por la selección evolutiva a lo largo de millones de años. Si fuéramos capaces de interpretarla plenamente, la naturaleza sería un manual perfecto de diseño para la economía circular. Sin embargo, incluso con los limitados conocimientos actuales es pertinente incluir el biomimetismo como enfoque en el diseño para la sostenibilidad guiado por el material. Un ejemplo conocido es el tren bala japonés, inspirado en un ave, el martín pescador. Pero su relación con la naturaleza no convierte al tren bala en menos nocivo para el medio ambiente que otros trenes. Esto es así porque el biomimetismo se utiliza para emular las cualidades mecánicas y la forma naturales, pero ignorando la composición y la estructura del material. Algunos ejemplos de biomimetismo centrado

**Fig 9.** Muestras de procesos y prototipo final elaborado con piel de salmón, un producto residual de la industria pesquera. La piel se curtió con urea (de orina) y se tiñó con tintes naturales. El resultado es una gorra totalmente biodegradable elaborada para Nike. (Ensayo 4)

en el material serían estudiar cómo la naturaleza dota la piel del tiburón de propiedades antibacterianas o cómo la nanoestructura del ala de una mariposa atrapa la luz para que la veamos azul vivo. El biomimetismo como enfoque es pertinente para el diseño guiado por el material cuando lo principal es estudiar la composición y la estructura, y lo secundario es la forma a gran escala. Se probó e incluyó el enfoque a partir del ensayo 3 con la ayuda del Biomimicry Institute (The Biomimicry Institute 2018) y de un biólogo. Entre otras actividades, esto se tradujo en viajes sobre el terreno para el estudio de plantas (figura 7) (véase la tabla 2, D6-D10).

Hasta que se introdujeron estos enfoques en el proceso, la calidad de los resultados de los ensayos era irregular. La falta de un enfoque sistemático producía resultados chapuceros, mientras que la falta de creatividad en la exploración de materiales frenaba la innovación del material, el proceso y el producto. Como consecuencia, a partir del ensayo 3, se introdujeron los enfoques y se pidió a los participantes que en sus presentaciones fueran más explícitos sobre el enfoque que utilizaban en cada situación. En el ensayo 3 se introdujo el requisito de utilizar diarios de laboratorio para registrar todos los datos y las acciones. Con ello, la exploración y el desarrollo de materiales fue un proceso más metódico y fácilmente repetible.

## 6 LIMITACIONES Y REQUISITOS PREVIOS

Tal y como se presenta en este artículo, el diseño para la sostenibilidad guiado por el material, tanto en términos de proceso de diseño como de enfoques, ha sido desarrollado a través de ensayos de diseño con estudiantes de diseño como participantes. Los diseñadores profesionales podrían no tener necesariamente un conocimiento más profundo de la economía circular, pero probablemente tendrán una base más sólida de aptitudes, conocimientos y experiencias que les servirá quizás para poder interiorizar más rápidamente los enfoques presentados en el apartado anterior. En los subapartados siguientes se abordan las limitaciones expuestas a lo largo de la investigación, diferentes variaciones en el uso del diseño para la sostenibilidad guiado por el material y los requisitos previos necesarios para aplicar el proceso de diseño.

### 6.1 Limitaciones

El diseño para la sostenibilidad guiado por el material abre la puerta a varios recursos que no suelen utilizar los diseñadores habitualmente: Recursos que suelen ser abundantes y que actualmente tienen poco valor o se consideran residuos o nuevos recursos creados mediante biotecnología que empiezan a salir de los laboratorios. Sin embargo, una parte considerable de los materiales que hoy se consideran residuos o subproductos son una mezcla de materiales biodegradables y sintéticos. Separarlos es difícil o imposible y, como consecuencia, hay materiales residuales contaminados o mezclados de tal forma que no pueden descomponerse con la tecnología actual. Ello hace que sean poco adecuados como materia prima en el diseño para la sostenibilidad guiado por

## TEMES DE DISSENY #34

el material. Por otro lado, el círculo técnico del reciclaje no es perfecto. Algunos materiales reciclables, como la mayoría de los termoplásticos, se deterioran después de varios ciclos de reciclado. Esto significa que en un futuro en el que la economía circular esté establecida, no necesitaremos tener en cuenta si materiales como los plásticos no biodegradables deben siquiera producirse o si podrían ser sustituidos por alternativas biodegradables.

Finalmente, el conocimiento y las competencias del diseñador y las características del espacio físico en el que se lleva a cabo el proceso son tanto posibilidades como limitaciones del proceso y de los resultados. Dependiendo de las instalaciones, algunos materiales son más adecuados que otros. En algún caso, será incluso imposible trabajar con los materiales, a pesar de que sean totalmente reciclables. Esto podría ser debido a la inexistencia de un horno para fundir aluminio o vidrio, o a un grado de bioseguridad insuficiente al cultivar materiales vivos. El resultado de una situación como esta se ejemplifica en la figura 8.

### 6.2 Requisitos previos

El que un diseño para la sostenibilidad guiado por el material comience con el material no significa que la forma sea insignificante. La forma es inherente en los tres pasos del proceso: desde la forma de la unión molecular o la forma de la textura superficial hasta la forma de los componentes estructurales o la forma global del producto. Una silla totalmente biodegradable y/o reciclable debe ser cómoda de todas formas, o será descartada rápidamente. De igual modo, debe resultar agradable desde el punto de vista estético a largo plazo, sin depender de los caprichos de la moda. De lo contrario, el diseño pronto se verá obsoleto. Esto es aplicable al proceso de diseño guiado por el material y a cualquier otro proceso de diseño (Harper 2015). Así, un diseñador que no tenga las aptitudes, técnicas y experiencia para el diseño con formas tridimensionales estará en desventaja, incluso en el proceso de diseño guiado por el material. Un ejemplo de un participante que logró encontrar una buena relación entre forma, función, estética y cualidades materiales se ilustra en la figura 9.

## 7 OBSERVACIONES FINALES

Según se exponía en la introducción, esta investigación tenía por objeto poner a prueba el diseño guiado por el material como proceso de diseño para la sostenibilidad y su potencial aportación a un cambio sistémico en favor de una economía circular. El proceso se puso a prueba y se desarrolló a lo largo de cinco ensayos de diseño, hasta tal punto que está plenamente avanzado dentro del contexto dado, definido por el tipo de participantes y las instalaciones físicas. De ahí que esté lo suficientemente desarrollado como para probarlo en otros contextos. Para dar una idea de la adecuación y el impacto potencial, lo ideal sería implicar a diseñadores expertos y a los departamentos de diseño de las empresas que se han declarado favorables a la sostenibilidad (como IKEA, Nike, Patagonia, etc.). Pero para probar el alcance del proceso,

## ARTÍCULO ORIGINAL

## 26

sería también pertinente probarlo en un entorno dominado por la tecnología o las ciencias naturales. Cabe suponer que el proceso seguirá evolucionando a medida que se expanda el ámbito del diseño guiado por el material, la tecnología avance y lleguemos a conocer mejor cómo construye la naturaleza.

Por ahora, sin embargo, podemos concluir que, en lo referente a la sostenibilidad, el proceso ha demostrado su potencial en los aspectos siguientes:

El diseño para la sostenibilidad guiado por el material permite al diseñador trabajar con la sostenibilidad en una realidad material que, ya actualmente, es muy interdisciplinaria.

El diseño para la sostenibilidad guiado por el material lleva al diseñador a tomar conciencia sobre recursos alternativos fácilmente accesibles, como la gran cantidad y variedad de subproductos de biomasa económicos que produce la industria.

El diseño para la sostenibilidad guiado por el material convierte al diseñador en especialista en el material en cuestión. Esto prepara al diseñador para tomar decisiones cualificadas con relación a la sostenibilidad en el proceso de fabricación.

Con respecto a la contribución a un cambio sistémico en favor de una economía circular, los ensayos han demostrado que siguiendo los procesos del diseño para la sostenibilidad guiado por el material se obtiene un producto que es reciclable y/o biodegradable. Sin embargo, seguir el proceso no garantiza que el usuario vaya a reciclar realmente un producto diseñado para reciclarse cuando quiera desprenderse de él. Tampoco se plantea el diseño guiado por el material si un problema de diseño puede ser resuelto sin pasar por el material, a través de diseño de reparaciones, reutilización, uso compartido, etc. Para cambiar la forma de hacer las cosas se requiere un pensamiento holístico y un enfoque sistémico del diseño para la sostenibilidad. Pero estos esquemas tan generales tienen un fallo: entre tanta complejidad y magnitud se pierden todas las instrucciones concretas para el diseñador del producto. En cambio, el esquema del diseño para la sostenibilidad guiado por el material que se presenta en este artículo es un enfoque de diseño para la sostenibilidad no sistémico, que efectivamente proporciona unas instrucciones específicas al diseñador del producto.

	REFERENCIAS
Ashby, Mike y 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 y 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, y Thomas Binder. 2011. <i>Xlab</i> . Copenhagen:The Danish Design School Press.	
Ceschin, Fabrizio y Idil Gaziulusoy. 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 marzo, 2018, http://bio.academany.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 marzo, 2017, https://dublin-sciencegallery.com/growyourown.	
Ellen Mac Arthur Foundation. "Ellen Mac Arthur Foundation.", consulta 8 de febrero, 2018, https://www.ellenmacarthurfoundation.org.	
European Union. "Circular Economy.", consulta 1 de marzo, 2018, http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm.	

## M. BAK-ANDERSEN

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 marzo, 2018, https://www.government.nl/topics/circular-economy.	
Hansen, Flemming Tvede. 2010. <i>Materialedreven 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 y Stichting doen. "New Material Award.", consulta 2 de marzo, 2018, http://www.newmaterialaward.nl.	
Karana, Elvin, Bahareh Barati, Valentina Rognoli, y 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, y Prabhu Kandachar. 2010. "A Tool for Meaning Driven Materials Selection." <i>Materials &amp; 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 marzo, 2018, http://www.ericklarenbeek.com.	
Koskinen, Ilpo, John Zimmerman, Thomas Binder, Johan Redstrom, y Stephan Wensveen. 2011. <i>Design Research through Practice: From the Lab, Field, and Showroom</i> . Waltham: Morgan Kaufmann/Elsevier.	
Krogh, Peter Gall, Thomas Markussen, y Anne Louise Bang. 2015. "Ways of drifting—Five Methods of Experimentation in Research through Design." En <i>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 marzo, 2018, http://www.biofabricate.co/about/.	
Materfad. "Materfad.", consulta 1 de marzo, 2018, http://es.materfad.com.	
Materia. "Materia.", consulta 1 de marzo, 2018, https://materia.nl.	
Material Connexion. "Material Connexion.", consulta 1 de marzo, 2018, www.material-connexion.com.	
Michaud, Hannah. "Apple Leather.", consulta 1 de marzo, 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 Sensoaesthetic 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 febrero, 2018, http://www.corpuscoli.com/projects/the-future-of-plastic/.	
OED, 2017. Oxford E. D. "OED Online." Oxford University Press, consulta 20 julio, 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 marzo, 2018, http://web.media.mit.edu/~neri/site/projects/pneuma1/pneuma1.html.	
Pearce, David W. y R. Kerry Turner. 1990. <i>Economics of Natural Resources and the Environment</i> . Baltimore: John Hopkins University Press.	
Ramalhete, PS, AMR Senos, y C. Aguiar. 2010. "Digital Tools for Material Selection in Product Design." <i>Materials &amp; Design</i> (1980-2015) 31 (5): 2275-2287.	
Redström, Johan. 2017. <i>Making Design Theory</i> . Cambridge, MA: MIT Press.	
Rittel, Horst WJ y 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, y Elvin Karana. 2015. "DIY Materials." <i>Materials &amp; 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, y 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, y 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 marzo, 2018, https://biomimicrytest.wpengine.com.	
University College London. "Institute of Making.", consulta 1 de marzo, 2018, http://www.instituteofmaking.org.uk.	
Van Bezooen, Aart. 2013. "Materials Driven Design." En <i>Materials Experience: Fundamentals of Materials and Design</i> , editado por Elvin Karana, Owain Pedgley, y Valentina Rognoli, 277-286. Amsterdam: Elsevier.	
Van Kesteren, IEH, Pieter Jan Stappers, y 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, y H. Daniel Wagner. 2000. "Materials Design in Biology." <i>Materials Science and Engineering: C</i> 11 (1): 1-8.	
Wilkinson, Karen y Mike Petrich. 2013. <i>The Art of Tinkering: Meet 150 Makers Working at the Intersection of Art, Science &amp; Technology</i> . San Francisco: Weldon Owen.	

## 27



Reflexión y acción					
Ensayo de diseño	Tema principal	Hallazgos	Reflexión	Acción	Pregunta
1	Materias primas	A1) Se utilizó una amplia gama de biomateriales residuales de forma novedosa.	A2) Podría ser resultado de las restricciones de las materias primas.	A3) Probar qué ocurre si no hay restricciones sobre las materias primas utilizadas.	A4) ¿Cómo afectará a los resultados que no haya restricción sobre las materias primas?
	Usabilidad	B1) El proceso se prueba sobre la base de una exploración abierta de los materiales que conduce a la definición de un producto conforme a las características del material. Esto no refleja cómo trabajan la mayoría de los diseñadores.	B2) El proceso debería probarse con una especificación de diseño concreta, puesto que de lo contrario será difícil evaluar la adecuación para la industria.	B3) Probar el proceso con la especificación de diseño de una empresa, para crear una situación más parecida a la realidad. (Se establece la colaboración con Nike).	B4) ¿Cómo puede utilizarse el diseño para la sostenibilidad guiado por el material con una especificación de diseño concreta*?
	Estudiantes Entorno educativo >< Experto Entorno profesional	C1) Los participantes en el ensayo son estudiantes y las competencias y los conocimientos de algunos de ellos son limitados, en comparación con lo que cabe esperar de un diseñador profesional.	C2) Un contexto educativo con estudiantes ofrece un entorno adecuado y flexible para probar y desarrollar el proceso, pero en última instancia este no debería utilizarse tan solo en la enseñanza. Debería ser también un proceso aplicable por los diseñadores a la industria.	C3) Implicar a las empresas y los profesionales externos en el desarrollo del proceso (se establece la colaboración con Nike**).	C4) ¿Cómo afectará a los resultados la implicación de los expertos en diseño del sector?
	Sostenibilidad	D1) No todos los resultados son compatibles con una economía circular	D2) Los participantes no tienen suficiente conocimiento sobre la circularidad de los materiales.	D3) Se introduce una comprobación de la circularidad en el proceso, al principio de todo, para descartar cualquier materia prima que no sea compatible. (5.2.1)	D4) ¿Cómo afecta la comprobación de la circularidad a los resultados?
	Enfoque	E1) En general, los resultados son más artísticos que funcionales. Muchos no están plenamente desarrollados y varios participantes han tenido problemas para repetir los experimentos con éxito. Algunos participantes utilizaron hojas de ensayo y error para informar de su proceso.	E2) La experiencia de los participantes en la exploración y el trabajo con materiales es escasa o nula. En su exploración, parecen dominados intuitivamente por un enfoque fenomenológico y no siguen una lógica ni un orden. Varios de ellos tuvieron dificultades para repetir los experimentos que produjeron buenas muestras de material.	E3) Observar la exploración con mayor detalle en el ensayo siguiente para especificar la dirección que debería seguir la exploración.	E4) ¿Qué enfoques específicos sobre la exploración de materiales podrían ser beneficiosos para el proceso?
	Evaluación	F1) La definición de los criterios y procedimientos de evaluación es demasiado vaga.	F2) Los criterios de evaluación de los resultados deben definirse conforme al objetivo de la investigación. De esta forma, será posible obtener datos que puedan utilizarse en el desarrollo del proceso. El procedimiento de evaluación sería más objetivo si se incluyera la opinión de otros profesionales.	F3) Los criterios de evaluación se establecen conforme al objetivo de la investigación y la especificación* definidos por Nike. Los productos se analizarán conforme a los principios de evaluación del ciclo de vida (Life Cycle Assessment, LCA) y a la herramienta "Making" de Nike, que proporciona datos sobre distintos materiales utilizados por Nike en su producción.	F4) ¿Es posible llevar a cabo un análisis comparativo de los resultados?

Ensayo de diseño	Tema principal	Hallazgos	Reflexión	Acción	Pregunta
2	Materias primas	A5) Los materiales utilizados eran en general materiales comercialmente disponibles.	A6) Casi todos los materiales eran materiales estándar comprados cerca y la mayoría de los participantes eligió métodos de fabricación tradicionales. Este "defecto" podría ser resultado de la libre elección de los materiales y de que, por ello, los participantes eligieran aquello que conocían, o podría ser resultado también del método de evaluación (eligieron materiales que estaban representados con datos en la herramienta de evaluación).	A7) En la situación docente deberían aplicarse las restricciones sobre las materias primas que pueden utilizarse, para asegurar la exploración del material.	A8) ¿Qué ocurre si hay 5 materiales preseleccionados adecuados*** para que los participantes elijan?
	Usabilidad	B5) Los participantes entregaron productos conforme a la especificación, pero el proceso se ha utilizado principalmente como un complemento para la inspiración	B6) Hay varias razones interrelacionadas que explican los resultados (véase A6). Pero, aparentemente, si el proceso no cuenta con unas instrucciones específicas, paso a paso, los participantes seguirán por defecto un proceso de diseño guiado por la forma que cumpla con la especificación del diseño.	B7) Se introducen instrucciones específicas para la exploración del material (5.2.6 y 5.3.1). Decisión de esperar con la repetición de B4 hasta que el proceso esté mejor definido.	
	Estudiantes Entorno educativo >< Experto Entorno profesional	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 los diseñadores profesionales no son expertos en diseño para la sostenibilidad guiado por el material o, al menos, tienen instrucciones muy específicas de cómo utilizar el proceso, el hecho de que guíen a los participantes no será necesariamente beneficioso para el desarrollo del proceso. En este punto tal vez sería más provechosa una colaboración que aportará experiencia tecnológica y unos equipos más avanzados.	C7) El proceso debe definirse detalladamente y escribirse paso a paso antes de que los diseñadores profesionales vuelvan a implicarse. Se establece una colaboración con el Instituto Tecnológico Danés para facilitar acceso a experiencia y colaboración tecnológica con el Biomimicry Institute. (Véase D6)	
	Sostenibilidad	D5) La comprobación de la circularidad aseguró la compatibilidad con una economía circular para las materias primas utilizadas. Pero no en los resultados finales. Los resultados por lo general se basan en técnicas de fabricación tradicionales.	D6) La circularidad es importante durante todo el proceso. El error típico apareció en el montaje. No existe mucha literatura que proporcione una buena guía sobre cómo diseñar productos para una economía circular. El biomimetismo está siendo considerado una herramienta para satisfacer esta demanda. El proceso debería cuestionar los métodos de producción laboral intensivos y aspirar a la manera más simple de pasar de la materia prima al producto final.	D7) El diseño para el desmontaje se introduce en la manipulación del material (5.3.1) y la "Elaboración manual para fabricación digital" (5.4.2) se introduce en el desarrollo del producto.	



	<b>Enfoque</b>	E5) El ensayo número 2 se desvió excesivamente del diseño guiado por el material para extraer hallazgos valiosos con respecto a los enfoques.	E6) Esto pudo estar debido en parte a los hechos mencionados en A6 y B6, pero también al hecho de no haber explicitado el enfoque de la exploración del material. Los enfoques deben ser explícitos. Los ensayos constaron de una serie de experimentos. Algunos de estos deberían ser abiertos y susceptibles de ser diseñados, pero también deben establecerse otros de forma sistemática para probar una hipótesis específica.	E7) Se establece una dirección específica sobre cómo utilizar un enfoque tanto fenomenológico como científico para la exploración. Asimismo, se entregan diarios de laboratorio con requisitos de registrarlo todo.	E8) ¿De qué forma una directriz específica sobre el enfoque de la exploración y el desarrollo del material afectará a los resultados? ¿Puede utilizarse el biomimetismo como enfoque? (Véanse D6 y C7)
	<b>Evaluación</b>	F5) Todos los participantes eligieron materiales con datos disponibles en la herramienta "Making" de Nike. De esta forma, hasta cierto punto fue posible medir y comparar.	F6) Los datos proporcionados por la herramienta solo pueden servir como indicador, puesto que los datos se basan en los proveedores de Nike y no en el material obtenido por los estudiantes. Tanto la herramienta como el uso de la evaluación del ciclo de vida (LCA) en la evaluación fuerzan en cierta medida el enfoque hacia la obtención de datos medibles. Muchos de los datos deberán basarse en supuestos.	F7) Se establece un conjunto inicial de directrices basadas en la economía circular y los principios de la LCA como parámetros para evaluación.	
<b>Ensayo de diseño</b>	<b>Tema principal</b>	<b>Hallazgos</b>	<b>Reflexión</b>	<b>Acción</b>	<b>Pregunta</b>
<b>3</b>	<b>Materias primas</b>	A8) Eligiendo un número limitado de materiales adecuados fue posible comparar diferentes resultados elaborados con el mismo material.	A9) Ver los mismos materiales manipulados y utilizados en distintos diseños es valioso para comprender el potencial de las diferentes materias primas. Distintas compañías de la industria producen materiales de biomasa que actualmente se consideran residuos. Las compañías que aportaron materiales para el ensayo se mostraron interesadas en la posibilidad de convertirlos en nuevos materiales y productos. (Véase A14) Elegir un número limitado de materiales ahorra tiempo y asegura la adecuación al proceso, pero los participantes también pierden el descubrimiento de la cantidad y la variedad de materiales disponibles.	A10) El material debe obtenerse localmente y ser considerado en la actualidad un residuo de muy poco valor. Todas las demás consideraciones con respecto a la elección de la materia prima deben definirse en los pasos iniciales de los procesos.	A11) ¿De qué forma las acciones de la parte inicial del proceso afectan a la economía circular y la sostenibilidad en general?
	<b>Usabilidad</b>	B8) Todos los participantes han seguido el proceso y todos han producido un material y un producto	B9) El proceso se define con mayor detalle, con los pasos y enfoques específicos y está preparado para ser probado	B10) Se establecen de nuevo colaboración con Nike y una nueva especificación**** que menciona	B11) ¿Está lo bastante desarrollado el proceso en esta ocasión para incluir una especificación concreta? ¿Qué ocurre

		nuevos.	con una compañía y una especificación de diseño otra vez.	concretamente el diseño para la sostenibilidad guiado por el material.	cuando el proceso se utiliza con una especificación de diseño?
	<b>Estudiantes Entorno educativo &gt;&lt; Experto Entorno profesional</b>	C8) La calidad de los resultados es variada. Una vez finalizado el ensayo, un estudiante sigue trabajando en su material y su producto con el Instituto Tecnológico Danés.	C9) Los resultados reflejan el nivel de competencia y el conocimiento de los participantes y, en cierto grado, también las instalaciones físicas disponibles para la manipulación de los materiales y la producción del prototipo.	C10) Se implica de nuevo a profesionales del diseño para la presentación inicial, una sesión de Q&A (webinario) intermedia y para la presentación final.	
	<b>Sostenibilidad</b>	D8) Todos los productos son compatibles con una economía circular. Los participantes han utilizado el biomimetismo como enfoque en distintos grados.	D9) El biomimetismo puede utilizarse como enfoque. La herramienta Asknature.org puede ser útil en algunos casos.	D10) El biomimetismo se incluye como enfoque en el proceso.	
	<b>Enfoque</b>	E8) Los enfoques han asegurado rigor y sistematización en el proceso y han dado a los participantes un lenguaje para describir sus acciones. La calidad de los registros en los diarios de laboratorio es variada.	E9) Estos enfoques específicos podrían no ser necesarios para los diseñadores experimentados.	E10) Véase D10.	
	<b>Evaluación</b>	F9) Los resultados se adecuan al conjunto de directrices. Algunos productos están creados con materiales que culturalmente se perciben como poco atractivos o de poco valor.	F10) La estética y el valor percibido son aspectos importantes para la sostenibilidad. Es necesario un mayor grado de conocimiento del valor percibido del material.	F11) Se introducen requisitos sobre investigación histórica y antropológica en el proceso (5.2.4), así como consideraciones sobre el valor (5.2.5). (Véanse también A11-A14)	F12) (Véase A11)
<b>Ensayo de diseño</b>	<b>Tema principal</b>	<b>Hallazgos</b>	<b>Reflexión</b>	<b>Acción</b>	<b>Pregunta</b>
<b>4</b>	<b>Materias primas</b>	A12) Las decisiones tomadas en la parte inicial del proceso con relación a la materia prima son decisivas para que el resultado final sea compatible con una economía circular y con la sostenibilidad en general. Los materiales utilizados son inusuales en muchos casos y se procesan de forma novedosa.	A13) Una investigación y una exploración iniciales y exhaustivas del material son cruciales para el resultado final.	A14) Además de la comprobación de la circularidad introducida después del ensayo 1 (5.2.1), se han identificado 3 acciones diferentes como centrales en la búsqueda inicial de materias primas: Investigación de la fuente (5.2.2), Composición (5.2.3) y Valor (5.2.5). (Véase también B14)	
	<b>Usabilidad</b>	B12) El proceso es compatible con una especificación de diseño.	B13) La especificación enmarca tres pasos diferentes en el proceso y hace que esté más enfocado. Todos los pasos se llevan a cabo conforme a las funciones que el producto final deberá cumplir. Los resultados son los mejores hasta el momento. Esto podría deberse en parte a la especificación del diseño.	B14) Hacer el seguimiento de las compañías que nos contacten para obtener apoyo en el diseño al transformar sus residuos en materiales y productos valiosos. El ensayo siguiente se basará en el uso del proceso de esta forma (véase A9). Se seleccionan 5 materiales diferentes. La compañía Aeropowder participará como socio colaborador aportando material.	B15) ¿Puede el diseño para la sostenibilidad impulsado por el material utilizarse para crear valor a partir de residuos?



	<b>Estudiantes Entorno educativo &gt;&lt; Experto Entorno profesional</b>	C12) Todos los participantes han seguido el proceso y todos han producido un material y un producto nuevos conforme a la especificación.	C13) Incluir a diseñadores profesionales de Nike ha servido como factor de motivación y ha aportado feedback de los profesionales.	C14) (Véase B14)	
	<b>Sostenibilidad</b>	D12) Todos los productos son compatibles con una economía circular y la estética ha mejorado considerablemente.	D13) La adecuación entre la función de un producto y el material viene determinada en gran medida por la sostenibilidad. Es necesario un criterio de evaluación más amplio de las características del material, y no solo basado en aspectos de sostenibilidad.	D14) Se entregan a los participantes hojas de evaluación basadas en la información proporcionada sobre los materiales en la biblioteca de materiales Material Connexion.	D15) ¿Cómo afectará la hoja de evaluación al desarrollo del material?
	<b>Enfoque</b>	E12) Independientemente del enfoque, los participantes tienen tendencia a crear pequeñas muestras de material.	E12) Las muestras de material planas solo informan al diseñador sobre métodos de producción de potencial limitado, puesto que no muestran cómo responde en curvas y esquinas.	E13) Se introduce un subapartado de "boceto en 3D" (5.2.2) en el proceso.	
	<b>Evaluación</b>	F12) (Véase también A12) El resultado es por lo general mejor de lo que se había visto antes; principalmente se observa buena coherencia entre el material y la función del producto y los resultados se detallan a partir de una profunda investigación del material. Los productos terminan siendo conceptuales y con prototipos elaborados con un material que simplemente representa una idea.	F13) Los resultados pueden ser reflejo del proceso que ahora se desarrolla de forma más detallada. Otras cosas que pueden influir en los resultados pueden ser la especificación (véase B13) y la influencia de los diseñadores profesionales (C13). Dos productos terminan siendo conceptuales. Esto es debido en gran medida a las limitaciones de las instalaciones en el espacio de trabajo.	F14) Se introducen en el proceso restricciones sobre el material utilizado en el prototipo final presentado (5.3.3).	
<b>Ensayo de diseño</b>	<b>Tema principal</b>	<b>Hallazgos</b>	<b>Reflexión</b>		
<b>5</b>	<b>Materias primas</b>	A16) (Véase A8)	A17) Los materiales para el ensayo se han seleccionado, en cierta medida, para adecuarse a las instalaciones físicas. Se ha agotado el potencial del actual programa de investigación basado en los ensayos de diseño en este emplazamiento físico.		
	<b>Usabilidad</b>	B16) El proceso puede utilizarse para obtener valor del material residual. Varios de los resultados muestran que es posible, con medios relativamente simples, utilizar los residuos para nuevos materiales y productos. (Como plumas de pollo molidas utilizadas para	B17) Aunque los resultados son mayormente positivos, les falta acabado, los materiales en algunos casos no están plenamente desarrollados y la calidad del diseño es irregular. Es obvio que los participantes son estudiantes (ninguno de ellos lo es de diseño de producto y		

		fabricar hueveras, virutas de fibra de cáñamo utilizadas para fabricar plantillas de zapatos).	solo unos pocos lo son de moda). Por ello, carecen de competencias y conocimiento sobre métodos de producción. Se ha agotado el potencial del actual programa de investigación basado en los ensayos de diseño con esta categoría de participantes.		
	<b>Estudiantes Entorno educativo &gt;&lt; Experto Entorno profesional</b>	C16) El proceso parece suponer un gran desafío para los participantes.	C17) (Véase B17)		
	<b>Sostenibilidad</b>	D16) Todos los productos son compatibles con una economía circular. La hoja de evaluación sirve como herramienta de evaluación y como guía para la exploración del material.	D17) El proceso es adecuado para diseñar para una economía circular y para la sostenibilidad. Puede ajustarse para enfocarlo de forma específica a diferentes aspectos de la sostenibilidad.		
	<b>Enfoques</b>	E16) Las restricciones introducidas en F14 limitan los materiales utilizables a las instalaciones físicas disponibles.	E17) Quizás esta restricción debería ser en algunos casos opcional, porque podría bloquear la innovación.		
	<b>Evaluación</b>	F16) (Véanse D16 y apartado 3.2 para criterios de evaluación finales).			
<p>* La especificación pedía diseñar un producto que se ajustara a la colección de Nike, con un enfoque en la estética, el rendimiento y la sostenibilidad.</p> <p>** Nike se implicó en la presentación inicial del proyecto (físicamente presente), en la sesión de Q&amp;A intermedia (a través de webinar) y para la presentación y evaluación finales (físicamente presente).</p> <p>*** Entendiendo por adecuado que tenga el potencial de ser totalmente biodegradable o reciclable, pero también adecuado para las instalaciones físicas y las herramientas disponibles.</p> <p>**** Utilizar diseño para la sostenibilidad guiado por el material para producir un producto para la colección de Nike, con un enfoque en la estética, el rendimiento y la sostenibilidad.</p>					

Tabla 2. Se muestra el avance del proceso del diseño para la sostenibilidad guiado por el material.