

Alganyl: Cocinando ropa sustentable

Cómo citar este artículo: Bell, F., McQuaid, E., & Alistar, M. (2022). Alganyl: Cocinando ropa sustentable. *Diseña*, (20), Article.4. <https://doi.org/10.7764/disena.20.Article.4>

DISEÑA | 20 |
ENERO 2022

ISSN 0718-8447 (impreso)
2452-4298 (electrónico)

COPYRIGHT: CC BY-SA 4.0 CL

Artículo de investigación original

Recepción

29 ABR 2021

Aceptación

08 NOV 2021

Ø Original English Version here

Fiona Bell

University of Colorado Boulder

Ella McQuaid

University of Colorado Boulder

Mirela Alistar

University of Colorado Boulder



En este artículo presentamos Alganyl, un biotextil creado a partir del conocimiento corporizado que suscita cocinar. Basado en recetas *Do-It-Yourself* (DIY) existentes para producir bioplásticos, Alganyl es fabricado con recursos renovables, se siente como vinilo al tacto y puede ser reutilizado antes de ser convertido en compost. Hemos esbozado tres principios rectores para diseñar con Alganyl: materialidad, accesibilidad y sustentabilidad. Nuestro proceso, que es replicable, incluye la cocción del Alganyl en la cocina del diseñador, para luego cortar el material y sellarlo con calor para crear la ropa. Aplicamos estos principios y procesos de diseño para confeccionar tres prendas de Alganyl: un vestido, una blusa y una falda. Por último, abordamos el ciclo de vida de Alganyl, prestando especial atención al final de la vida de la ropa, que abordamos mediante la recocción y la biodegradación (60 días para degradar el 97%). Luego de nuestras experiencias con Alganyl, creemos que tiene el potencial de acercarnos a un futuro en que la ropa se convierta en una forma autónoma de autoexpresión, con un impacto mínimo en el medio ambiente.

Palabras clave

Bioplásticos

Biodiseño

Materialidad

Accesibilidad

Sustentabilidad

Fiona Bell—B.Sc. en Ingeniería Mecánica, Santa Clara University. Candidata a Doctora del Instituto ATLAS, University of Colorado Boulder. Como investigadora está interesada en los biomateriales, el biodiseño, la HCI y la sustentabilidad. Entre sus últimas publicaciones se encuentran: "Designing Direct Interactions with Bioluminescent Algae" (con N. Ofer y M. Alistar; en *Designing Interactive Systems Conference 2021*); "Self-deStaining Textiles: Designing Interactive Systems with Fabric, Stains and Light" (con A. Hong, A. Danielescu, A. Maheshwari, B. Greenspan, H. Ishii, L. Devendorf y M. Alistar; en *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*); y "The Undyeing Swatch" (en *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*).

Ella McQuaid—Estudiante de Ingeniería Mecánica, University of Colorado Boulder. Interesada en los biomateriales y el biodiseño, ha recibido una beca Discovery Learning (DLA) para trabajar en bioplásticos, como parte del Living Matter Lab de la profesora Alistar en el Instituto ATLAS.

Mirela Alistar—Licenciada en Ingeniería Informática, Universidad Politécnica de Bucarest. Ph.D. en Ingeniería Informática, Universidad Técnica de Dinamarca. Profesora adjunta de materiales blandos en el Instituto ATLAS, University of Colorado Boulder. Su actividad de investigación se centra en los biomateriales, el biodiseño, los microfluidos y la salud. Algunas de sus publicaciones más recientes son: "Electriflow: Soft Electrohydraulic Building Blocks for Prototyping Shape-changing Interfaces" (con S. M. Novack, E. Acome, C. Keplinger, M. D. Gross, C. Bruns y D. Leithinger; en *Designing Interactive Systems Conference 2021*); "Designing Direct Interactions with Bioluminescent Algae" (con N. Ofer y F. Bell; en *Designing Interactive Systems Conference 2021*); y "Self-deStaining Textiles: Designing Interactive Systems with Fabric, Stains and Light" (con F. Bell, A. Hong, A. Danielescu, A. Maheshwari, B. Greenspan, H. Ishii y L. Devendorf; en *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*).

Alganyl: Cocinando ropa sustentable

Fiona Bell

University of Colorado Boulder
Instituto ATLAS
Boulder, EE. UU.
fiona.bell@colorado.edu

Ella McQuaid

University of Colorado Boulder
Departamento de Ingeniería Mecánica
Boulder, EE. UU.
ella.mcquaid@colorado.edu

Mirela Alistar

University of Colorado Boulder
Instituto ATLAS
Boulder, EE. UU.
mirela.alistar@colorado.edu

ROPA BIOTEXTIL

La ropa no es solo algo que usamos para cubrir nuestro cuerpo: conectamos emocionalmente con ella y la utilizamos para comunicarnos y capturar experiencias a lo largo del tiempo. La masificación de la ropa de bajo costo, conocida como moda rápida, permitió un acceso rápido y fácil a diversas prendas a costa de la despersonalización. Además, el modelo de consumo actual tiene un alto impacto medioambiental, ya que la mayoría de los tejidos utilizados hoy en la industria de la moda están hechos de hasta un 64% de plásticos sintéticos como poliéster, nylon, acrílico y vinilo (Carney Almroth et al., 2018). En este contexto, repensamos el proceso de confección de ropa proponiendo técnicas *Do-It-Yourself* (DIY) de fabricación manual de biotextiles que utilizan la experiencia corporalmente sentida del diseñador para crear ropa expresiva y sustentable.

Brindamos un ejemplo de ropa sustentable a medida confeccionada a mano: Alganyl, un biotextil DIY hecho de algas marinas. Alganyl se basa en la receta de bioplásticos de Margaret Dunne (2018), centrándose en las sensaciones que genera, la facilidad de fabricación del biotextil y su biodegradabilidad. Optimizamos nuestra receta (es decir, nuestra proporción de ingredientes) sintiendo, moviendo y jugando activamente con varias muestras. Estos prototipos iniciales nos permitieron seguir “cacharreando” (*tinkering*) hasta que obtuvimos un material flexible y resistente, similar al tejido textil de vinilo o PVC. Luego utilizamos nuestra receta optimizada de Alganyl junto a métodos de fabricación accesibles y corporizados para crear un vestido, una blusa y una falda (Figura 1). Para crear cada una de las prendas trabajamos con personas que las usaron, utilizando sus experiencias sentidas para guiar la estética y la forma de cada una. Para ello, primero pigmentamos el Alganyl basándonos en la estética de quienes vistieron las prendas, y luego dimos forma

personalizada al bioplástico ya pintado para crear prendas que resultaran cómodas y divertidas de llevar. Estas experiencias sensoriales a lo largo del proceso de diseño condujeron a una relación más profunda entre la diseñadora, la usuaria y la prenda.

Basándonos en nuestra experiencia con Alganyl, esbozamos tres principios rectores para el diseño de ropa con biotextiles: materialidad, accesibilidad y sustentabilidad. Describimos la materialidad como las interacciones somáticas que uno tiene con el textil y la ropa. En concreto, reflexionamos sobre la importancia de las experiencias humano-materiales, tanto de la diseñadora como de la usuaria para comprender el comportamiento, la sensación y el aspecto de la ropa de Alganyl. Describimos la accesibilidad como la experiencia que se tiene al conseguir los materiales y las herramientas necesarias para fabricar el textil y la ropa. Los aspectos clave son el fácil acceso a los ingredientes y a las herramientas de fabricación y la facilidad de confección de la ropa a través de los conocimientos corporizados (o conocimientos encarnados) que suscitan las técnicas de cocina y producción artesanal. Finalmente, describimos la sustentabilidad en función del impacto que el textil y la ropa tienen en nuestro entorno. Analizamos la sustentabilidad de Alganyl examinando todo el ciclo de vida, prestando especial atención al final de la vida útil del material.

Figura 4: Tres prendas de Alganyl que adoptan los principios de materialidad, accesibilidad y sustentabilidad. Fotografía: Las autoras, 2021.



Como ya hemos dicho, aplicamos nuestros principios rectores de diseño para confeccionar un vestido, una blusa y una falda (Figura 1). Estas prendas emplean los conocimientos corporizados de la cocina y la producción artesanal, haciendo que el proceso de creación de la ropa sea intuitivo y menos intimidante. Luego consideramos el ciclo de vida completo de las prendas de Alganyl para determinar el impacto medioambiental en su totalidad; estos pasos incluyen la obtención de materiales, la cocción de Alganyl, la elaboración de las prendas, su uso, la recoc-

ción y el compostaje. Si bien intentamos aplicar técnicas sustentables a lo largo de todo este ciclo de vida, prestamos especial atención al final de la vida útil de Alganyl, logrando que pueda reutilizarse mediante la recocción y/o compostarse (tarda aproximadamente 60 días en degradarse). Observamos que el proceso de confección artesanal de la ropa nos acerca emocionalmente a lo que llevamos puesto, impregnando las prendas creadas con interacciones significativas y anhelos de cuidado. El proceso también inspira en el diseñador el deseo de responder responsablemente a la ropa que crea, llevándolo a ser mucho más consciente del ciclo de vida de sus prendas.

BIOTEXTILES

Debido a la reciente publicación de investigaciones que muestran los impactos negativos de la industria de la moda, se ha incrementado el esfuerzo por desarrollar textiles biodegradables de base biológica. Algunos ejemplos notables son la camisa de pulpa de madera y algas desarrollada por Vollebak,¹ la chaqueta de cuero de kombucha de Weir (Baker, 2018), los zapatos de fibra celulósica de Lee (Y. A. Lee, 2016), el "Mylo" de Bolt Threads,² el "MycoFlex" de Ecovative Design³ y el "TômTex" de Tran.⁴

1 www.vollebak.com

2 <https://boltthreads.com/technology/mylo/>

3 <https://ecovativedesign.com/mycoflex>

4 <https://www.tomtex.co>

Biomateriales en HCI

Los recientes avances en las ciencias biológicas, junto con los esfuerzos de la comunidad bio-DIY para hacer accesibles las herramientas y los procedimientos biológicos (DIYbio, s.f.; Kuznetsov et al., 2015), han despertado un mayor interés entre la comunidad de investigación en HCI para incluir materiales biológicos como parte de las pantallas (Bell et al., 2021; Luchtman & Siebenhaar, s.f.), las interfaces (Alistar & Pevere, 2020; Merritt et al., 2020; Ofer et al., 2021; Salem et al., 2008; Tanaka & Kuribayashi, 2007; Yao et al., 2015) y los sistemas (Holstius et al., 2004; S. A. Lee et al., 2015). Además, trabajos como las interfaces computacionales de tela desarrolladas por Orth (Orth et al., 1998) y el "Proyecto Jacquard" (Poupyrev et al., 2016) han puesto de relieve el potencial de los textiles en la investigación en el campo de la HCI. De este modo, se ha generado una pequeña pero creciente colección de trabajos con biotextiles interactivos como los accesorios de micelio (Lazaro Vasquez & Vega, 2019) y los *wearables* de cuero de kombucha (Ng, 2017). Aunque Alganyl no es interactivo en el sentido tradicional (es decir, no tiene sensores reactivos, actuadores ni pantallas), se basa en metodologías del ámbito de la HCI como los prototipos experienciales (Buchenau & Suri, 2000) y el diseño y cacharreo impulsados por materiales (Giaccardi & Karana, 2015; Parisi et al., 2017).

Bioplásticos

Alganyl es también un bioplástico, es decir, un material "biodegradable", "de base biológica" y "plástico". Es biodegradable porque se desintegra o descompone de forma

natural en una mezcla de biogases y biomasa (Shah et al., 2008); de base biológica porque está hecho de materiales sustentables que consumen dióxido de carbono mientras están vivos (Weber, 2000); y plástico porque tiene propiedades similares a las de los plásticos sintéticos (Lagaron et al., 2008; Petersen et al., 1999). Los bioplásticos más conocidos son el ácido poliláctico y los polihidroxialcanoatos (Lackner, 2015). Sin embargo, los diseñadores han creado una variedad de bioplásticos DIY basados en almidones como las algas (Hii et al., 2016; Machmud et al., 2013; Sousa et al., 2010; Tabassum, 2016).

Aunque los bioplásticos se consideren más comúnmente como una alternativa sustentable para los envases (Elvin, 2015; Kale et al., 2007), algunos diseñadores han comenzado a utilizar los bioplásticos como textiles. Entre los casos notables se puede mencionar que Algiknit creó un hilo a base de algas,⁵ que Müller *et al.* incorporaron pigmentos termocrómicos a los bioplásticos para crear “Second Skin”,⁶ que GreenGear utilizó caña de azúcar para crear “EcoRain Poncho” (Barrett, 2019), que McCurdy creó el impermeable “Carbon-Negative” (Hahn, 2019) y que Tran utilizó conchas marinas y residuos de café para crear un biocuero llamado “TômTex” (Hahn, 2020). Además, cada vez son más abundantes las recetas de código abierto para crear textiles bioplásticos, ya sean libros de cocina (Dunne, 2018; Kwong, 2011), tutoriales (Kretzer et al., 2021; Raspanti, 2020) o bibliotecas de materiales como Materiom.⁷ Alganyl se basa en la receta de Dunne, optimizada por nosotras en cuanto a su materialidad para hacer que se comporte de forma similar al tejido de vinilo, llevando la ropa bioplástica un paso más allá de lo logrado por McCurdy y GreenGear, ya que Alganyl puede ser personalizado con colores, patrones, texturas y formas que resultan únicas para nuestros cuerpos y preferencias estéticas.

5 www.algiknit.com

6 <http://materiability.com/bioplastic-robotic-materialisation/>

7 <https://materiom.org/search>

PRINCIPIOS DE DISEÑO

Para desarrollar Alganyl y diseñar sus aplicaciones, utilizamos el enfoque del Diseño Guiado por Materiales o *Material-Driven Design* (Karana et al., 2015), comenzando con la comprensión de Alganyl como material, utilizando luego ese entendimiento para iterar su desarrollo y, finalmente, manifestando algunas de las aplicaciones de Alganyl. Con el objetivo inicial de crear una alternativa sustentable a los tejidos basados en petróleo para la industria de la moda, empezamos centrándonos en la *sustentabilidad* del material, lo que nos llevó a utilizar recetas DIY para bioplásticos que se pueden cocinar en casa. Mientras experimentábamos con el material *cocinando*, advertimos la necesidad de agregar dos principios de diseño adicionales: *materialidad* y *accesibilidad*, los que determinaron nuestra forma de concebir la relación que debía existir entre Alganyl y la persona que lo fabrica. Llegamos a la *materialidad* porque cocinar nos acercó al material, proporcionando una retroalimentación sensorial directa, en contraste con otros métodos de fabricación que desconectan

al fabricante del material (por ejemplo, la impresión 3D). A través de la familiaridad implícita en el acto de cocinar llegamos a la *accesibilidad*, ya que los ingredientes, las herramientas y la ubicación física de la cocina son de fácil acceso, lo que nos permite decir que cualquiera puede hacer Alganyl.

Materialidad

La *materialidad* fue el principio que utilizamos para desarrollar Alganyl como un biotextil de comportamiento, sensaciones y aspecto atractivo. Para conseguirlo, empleamos métodos de diseño basados en el material, como el “cacharreo con materiales” (Parisi et al., 2017; Rognoli & Parisi, 2021) y el “prototipado experiencial” (Buchenau & Suri, 2000). A través de nuestras experiencias corporales y táctiles obtuvimos un conocimiento tácito sobre el material, en una fase temprana de su desarrollo, lo que nos llevó a realizar más de 150 iteraciones dirigidas a nuestro material. Por ejemplo, observamos que existe una correlación directa entre el comportamiento y la sensación de Alganyl: las muestras más fuertes se sentían más suaves, mientras que las más débiles se sentían más pegajosas. Guiadas por las sensaciones que provocaba Alganyl, seguimos ajustando iterativamente las cantidades de glicerina hasta obtener muestras suaves. A continuación, realizamos pruebas de tracción en las muestras suaves para conocer la resistencia y la flexibilidad del material, validando así comportamientos como la elasticidad y la durabilidad, que intuíamos. También acogimos la *lentitud* del desarrollo de Alganyl —el secado de las muestras tardaba entre 24 y 72 horas—, lo que nos dio tiempo para reflexionar de forma significativa sobre cada iteración. Así, nos guiamos por nuestras experiencias táctiles para llegar a una receta que permitiera crear un material que pudiera llevarse cómodamente y que respondiera de forma familiar y lúdica a los movimientos del usuario. Una vez que obtuvimos nuestra receta óptima, que se sentía y se comportaba como un textil (por ejemplo, vinilo), utilizamos nuestras preferencias personales y nuestra intuición (Faste, 2017) para explorar el aspecto de Alganyl. Por ejemplo, agregamos entre una y dos gotas de colorante alimentario durante la cocción y pintamos con los dedos con el colorante durante el secado. También experimentamos con la forma, cortando y pegando con cuchillos X-Acto y planchas para tela. A través de nuestras exploraciones manuales, nos dimos cuenta de que era imprescindible conocer y sentirnos cómodas con la dimensión expresiva-sensorial (Rognoli, 2010) de Alganyl para manifestar aplicaciones específicas.

Accesibilidad

Creemos en la importancia que la *accesibilidad* tiene en el diseño, ya que puede facilitar la difusión de conocimientos sobre los textiles sustentables. Nuestro objetivo a largo plazo es contribuir a que aumente la conciencia de los diseñadores y, con el tiempo, orienten su actitud hacia el uso de biotextiles de residuo cero, como Al-

ganyl, en sus prácticas. Por lo tanto, utilizamos la accesibilidad como un principio de diseño que tiene en cuenta tanto los materiales como los métodos. Desde un punto de vista metodológico, creamos las prendas de Alganyl utilizando técnicas intuitivas para cocinar y manufacturar. Cocinar (medir, calentar en el microondas, etc.) y confeccionar con las manos (cortar, planchar, etc.) suelen considerarse “actos rutinarios”. Aunque los actos rutinarios tienden a perder su riqueza de significado (Núñez-Pacheco y Loke, 2018), el hecho de que estemos familiarizados con ellos proporciona a personas de todas las edades y nivel de experiencia un punto de entrada expedito para crear su propia ropa. Sin embargo, al aplicar el conocimiento corporizado (o encarnado) de estos métodos a algo desconocido (es decir, al nuevo material) reintroducimos la necesidad de concentrarse para crear ropa de Alganyl, haciendo así que la experiencia resulte “notable”, como dirían Núñez-Pacheco y Loke (2018).

En lo que respecta a los materiales, Alganyl se fabrica con tres ingredientes (agar, glicerina y agua), todos ellos muy abundantes y disponibles en todo el mundo. Además, los métodos de fabricación utilizados para hacer Alganyl (cocción, corte y sellado térmico), no requieren más que herramientas domésticas comunes como una plancha para tela, una pistola para pegamento caliente o un sellador de plástico. Esto hace que Alganyl pueda ser replicado en otros entornos que expanden el quehacer propio de las cocinas, como los Fab Labs y los espacios *maker* (Parisi et al., 2021), estimulando la actividad de las comunidades que promueven las prácticas DIY y el conocimiento de código abierto.

Sustentabilidad

Alganyl se diferencia de los tejidos tradicionales (por ejemplo, vinilo, algodón, nylon) y de los plásticos derivados del petróleo por su *sustentabilidad*: biodegradabilidad y ausencia de toxinas nocivas. En comparación con los biotextiles como el micelio y el cuero de kombucha, también biodegradables, Alganyl es *totalmente circular*: optimizamos nuestra receta para garantizar que el material usado o no deseado pueda volver a cocerse para hacer un nuevo Alganyl. El deseo de crear Alganyl como un biotextil altamente sustentable está motivado por el violento impacto de la industria de la moda en el medio ambiente (Gita et al., 2017; Niinimäki et al., 2020; Shirvanimoghaddam et al., 2020). Para abordar estas cuestiones, diversos investigadores han propuesto principios de diseño para reducir la dependencia de los productos petrolíferos en los materiales y el procesamiento (Elvin, 2015), así como directrices para un diseño de moda intencional que tenga en cuenta todo el ciclo de vida de la ropa (Gwilt, 2020; Lazaro Vasquez et al., 2020). Siguiendo estos principios, el ciclo de vida que proponemos para la ropa de Alganyl incluye seis pasos: obtención de materiales, cocción de Alganyl, elaboración de la ropa, uso, recocción y compostaje. Este ciclo de vida contempla tanto un enfoque lineal, a través del compostaje, como un enfoque circular, a través de la recocción. El compostaje implica la eliminación

de Alganyl en el suelo, donde se degrada completamente luego de 60 días. Por su parte, la recocción de los residuos reinicia el ciclo de vida en la fase de cocción del Alganyl. Además, dado que Alganyl se elabora en casa utilizando equipos reutilizables, nuestro ciclo de vida prescinde de la distribución y el transporte del material y la ropa. Al tener en cuenta la accesibilidad del material (no todo el mundo posee las instalaciones para purificar agua o extraer agar de las algas y glicerina de la soja), reconocemos que, como contrapartida, se pueden utilizar ingredientes comerciales que tienen una huella de carbono que escapa a nuestro control.

HACER ALGANYL Y HACER CON ALGANYL

Para hacer Alganyl, utilizamos una mezcla de agar (un extracto de algas rojas), glicerina (un derivado de la grasa vegetal) y agua. Basamos nuestra fórmula y proceso en la receta de bioplástico “Agar Agar”, descrita en *Bioplastic Cook Book for FabTextiles* de Dunne (2018). Después, ampliamos el trabajo de Dunne optimizando la proporción de los ingredientes en función del principio de *materialidad*.

Cocinar Alganyl

Alganyl es elaborado con tres ingredientes accesibles, comestibles y comúnmente presentes en la cocina: agua, agar y glicerina (Figura 2a). Mezclamos dos gramos de agar, tres gramos de glicerina y 50 mililitros de agua comprada en Walmart. Para activar el agar, la mezcla se hierve a 90 °C en un microondas de 1.200 vatios (Figura 2b) o en una placa caliente. Es importante remover la mezcla para asegurar que el agar se distribuya uniformemente, ya que su mayor densidad hace que se hunda en el recipiente. A continuación, vertemos la mezcla inmediatamente sobre una superficie limpia, plana y resistente al calor y la dejamos secar (Figura 2c). Si la superficie de secado es irregular, Alganyl se verá afectado por la gravedad, dando lugar a un tejido irregular. Debemos verter el Alganyl líquido inmediatamente después de la cocción, ya que el repentino descenso de la temperatura (de la ebullición a la temperatura ambiente) provoca una rápida gelificación: en 10 minutos el Alganyl se cura hasta convertirse en un suave gel. El Alganyl se secará a lo largo de 24-72 horas, dependiendo de la corriente de aire, la temperatura y la humedad de la habitación. Es importante dejar que Alganyl se seque completamente antes de despegarlo de la superficie, de lo contrario, el textil se deformará. El Alganyl seco se siente como el vinilo (Figura 2d), siendo fácil de doblar y flexionar, sin dejar de ser resistente (Figura 2e). También se pueden incorporar otras propiedades al Alganyl, como el color, por ejemplo, añadiendo entre una y dos gotas de colorante alimentario (Figura 3) o pintando con los dedos durante el proceso de curado (Figura 4b). Nuestros experimentos demuestran que la glicerina influye en el comportamiento y la sensación táctil de Alganyl: más glicerina conduce a un textil más flexible, más elástico y más pegajoso, así como menos glicerina conduce a un textil más fuerte y quebradizo.

Figura 2: (a) Alganyl está hecho de agua, glicerina y agar (b) cocido en un microondas. (c) La mezcla calentada se seca en una superficie plana durante 24-72 horas, (d) lo que da como resultado un biotextil transparente, similar al vinilo (e), flexible y resistente. Fuente: Las autoras, 2021.

Nuestra receta equilibra la fuerza y la flexibilidad: el tejido resultante es lo suficientemente flexible para reaccionar a los movimientos del usuario y lo suficientemente fuerte para soportar las experiencias y los entornos que enfrentan los tejidos cuando se convierten en prendas de vestir. Este proceso nos obligó a, literalmente, *sentir* el camino por medio de la creación de nuestros prototipos de tejido Alganyl.

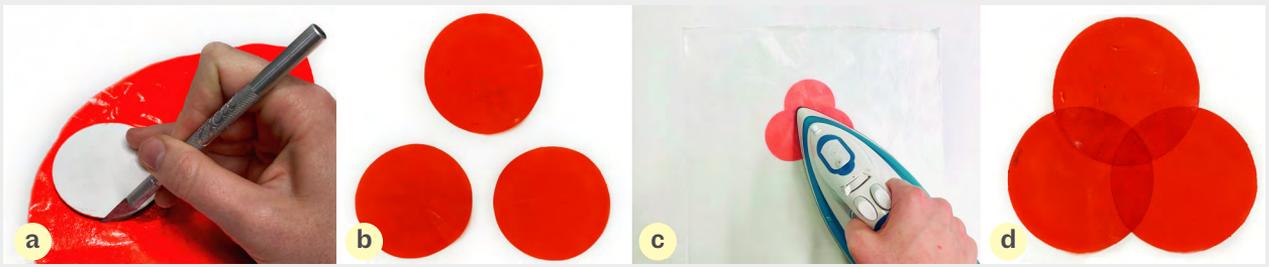
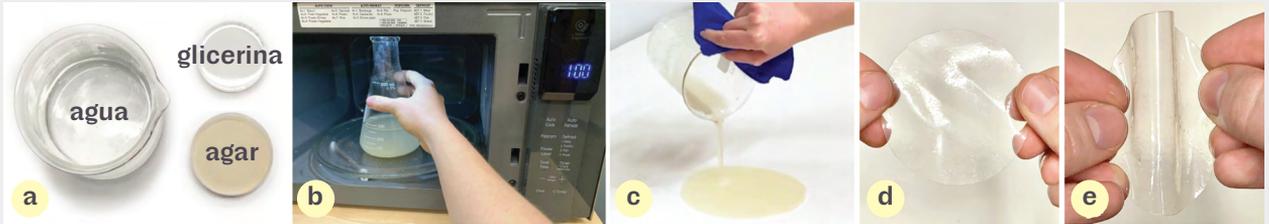


Figura 3: (a) Utilizamos un cuchillo X-Acto para cortar (b) piezas circulares de Alganyl que habíamos teñido rojo durante la cocción. (c) Después sellamos estas piezas al calor de una plancha para tela (d), creando así un tejido con dibujos de escamas de pescado que constituye la base de nuestra ropa de Alganyl. Fuente: Las autoras, 2021.

Confeccionar la ropa

Para confeccionar las prendas de Alganyl, exploramos tanto la fabricación aditiva (sellado por calor) como las técnicas de fabricación sustractiva (corte manual y por láser). Al igual que los termoplásticos industriales que cambian de fase sólida a líquida cuando se calientan, Alganyl se funde a altas temperaturas y se solidifica cuando se enfría. Esta propiedad permite que Alganyl sea sellado con calor utilizando una plancha para ropa (Figura 3c). Comenzamos cortando nuestro Alganyl (Figura 3a), teñido con colorante alimentario rojo durante la cocción, en piezas circulares (Figura 3b) que sellamos al calor con una plancha (Figura 3c), creando así una gran lámina textil (Figura 3d) a la que se dará forma de vestido, falda y blusa, como se explica a continuación.

Vestido. Para crear el vestido (Figura 4a), termosellamos las piezas circulares transparentes de Alganyl y les dimos forma para que se adaptaran bien a las curvas del cuerpo de la usuaria y, al mismo tiempo, permitieran un fácil movimiento. Por razones estéticas, termosellamos adornos de colores (coral, peces y algas). Junto con el patrón de escama de peces de los círculos, estos adornos dieron lugar a un vestido de temática marina, con lo que se pretendía resaltar el impacto de los plásticos en nuestros océanos. Para confeccionar el vestido utilizamos un total de 107 gramos de agar, 161 gramos de glicerina y 2.679 mililitros de agua, todo lo cual tuvo un costo de 11,65 dólares.

Blusa. Para confeccionar la blusa (Figura 4b), utilizamos una mezcla de piezas circulares y láminas de Alganyl. En concreto, utilizamos láminas que se “tiñeron” durante el secado (con motivos florales en la parte delantera y con motivos de arco iris en la parte trasera). Estos motivos coloridos obedecían a los deseos estéticos de la usuaria. Estas dos piezas principales están unidas en los laterales por láminas rojas y piezas circulares transparentes de Alganyl. Los tirantes de los hombros fueron hechos con círculos de colores. Para hacer la blusa utilizamos un total de 31 gramos de agar, 46 gramos de glicerina y 769 mililitros de agua, que costaron 3,34 dólares.

Falda. Para crear la falda (Figura 4c), termosellamos piezas circulares de Alganyl transparente. A diferencia del vestido, que utilizaba costuras para crear la forma, estructuramos la falda añadiendo pliegues que se sujetaban con un cinturón de círculos de Alganyl de diferentes colores. Los pliegues no solo añaden volumen a la falda, sino que también la hacen muy manejable y divertida cuando se gira con ella. La intención de la falda se basa más en el comportamiento de Alganyl y en cómo reacciona a los movimientos de quien lleva la prenda para comunicar una actitud alegre y lúdica. Para hacer la falda utilizamos un total de 74 gramos de agar, 111 gramos de glicerina y 1.853 mililitros de agua, que costaron 8,05 dólares.



Figura 4: Las tres prendas de Alganyl creadas para mostrar su potencial como biotextil para la ropa *DIY*: (a) un vestido, (b) una blusa y (c) una falda. Fotografías: Las autoras, 2021.

CICLO DE VIDA

La Figura 5 muestra el ciclo de vida de Alganyl, desde la obtención de materiales hasta el compostaje en un entorno natural, pasando por la cocción del textil, la confección de la ropa y la reutilización de los restos.

Obtención de materiales. Fabricamos Alganyl a partir de agua, glicerina de origen biológico y polvo de agar, ingredientes muy abundantes (sustenta-

bles) y disponibles a bajo costo en las tiendas de alimentación locales (accesibles). Sin embargo, la gran accesibilidad de Alganyl tiene como contrapartida la compra en tiendas de ingredientes que tienen una huella de carbono que escapa a nuestro control. Para la fabricación, utilizamos herramientas domésticas comunes: un microondas, un cuchillo X-Acto y una plancha para ropa.

Cocinar Alganyl. Aprovechamos el conocimiento corporizado que suscita el cocinar para crear Alganyl, que puede cocinarse en cualquier cocina doméstica en condiciones normales (de temperatura y humedad). Cocinar es un acto intuitivo y poco intimidante, lo que anima a personas de todas las edades y niveles de experiencia a elaborar Alganyl. Optimizamos la materialidad de Alganyl —comportamiento, sensación y aspecto— basándonos en nuestras experiencias somáticas con cada muestra experimental.

Confección de las prendas. Para crear nuestras prendas, combinamos técnicas tradicionales de confección (por ejemplo, el patronaje) con técnicas artesanales (por ejemplo, el corte y el termosellado). Como diseñadoras, trabajamos activamente con la usuaria, utilizando sus experiencias corporalmente sentidas al vestir la ropa para crear artículos personalizados que se ajustaran perfectamente a su cuerpo y respondieran a sus movimientos de forma familiar y lúdica. Como ocurre con el acto de cocinar, estamos tan familiarizadas con la confección artesanal que la creación de ropa de Alganyl es más accesible, sobre todo teniendo en cuenta que no teníamos experiencia previa en la confección de ropa.

Uso. Al llevar el vestido, la blusa y la falda, observamos que Alganyl es suave y no irritante, y que se siente como un tejido de vinilo. La ropa no solo se siente y se ve bien en el cuerpo, sino que también actúa como una forma de autoexpresión y como un vehículo para contar historias. El material en sí (Alganyl) y los artefactos creados (la ropa Alganyl) transmiten historias personales de la diseñadora, así como narraciones más amplias sobre la sustentabilidad y la accesibilidad de la ropa actual, acerca de la relación entre la ropa y su portador, y sobre las diversas maneras en que la confección de ropa puede cambiar esta relación.

Recocción. Los desechos de Alganyl pueden ser hervidos (30 gramos de desechos de Alganyl en 300 mililitros de agua). Al igual que en el proceso de cocción inicial, una vez que la mezcla alcanza la viscosidad adecuada y todos los restos se disuelven de manera uniforme, el Alganyl se vierte, se seca y se usa para confeccionar ropa.

Compostaje. Por último, medimos la biodegradabilidad de Alganyl en el compost. Nuestra pieza circular de Alganyl se degradó en un 97% tras 60 días en un entorno controlado a 40 °C, un método estándar para comprobar la biodegradabilidad de los bioplásticos (Emadian et al., 2017). Cuando se desecha directamente en la naturaleza, Alganyl puede tardar más en degradarse, dependiendo de condiciones ambientales como la temperatura, la humedad y los microbios presentes en el suelo.



Figura 5: Propuesta de ciclo de vida de Alganyl. Este proceso de diseño holístico consiste en la obtención de materiales, la cocción de Alganyl, la confección de la ropa, su uso, la recocción y el compostaje. Fuente: Las autoras, 2021.

DISCUSIÓN

Limitaciones

Alganyl tiene tres limitaciones principales: incompatibilidad con el agua, translucidez y durabilidad. En primer lugar, Alganyl no es impermeable, por lo que no puede proteger de la lluvia y la nieve, ya que la interacción con el agua fría deforma el material cuando se seca, mientras que el agua hirviendo lo disuelve por completo. Sin embargo, la exposición limitada a la humedad, como el sudor, tiene un efecto mínimo o nulo sobre el tejido, lo que convierte al Alganyl en un material viable para vestir cuando las condiciones climáticas lo permiten. En segundo lugar, la translucidez de Alganyl puede no prestarse especialmente bien, para todos, como material para la ropa que llevamos en nuestra vida cotidiana. Sin embargo, la adición de color hace que el Alganyl sea más opaco. Por último, Alganyl, como ocurre con el material de todo tipo de ropa, pierde fuerza a medida que se usa —la mayoría de los artículos de moda rápida se rompen después de 10 usos (Pierre-Louis, 2019)—. Después de usarlas ocho veces, observamos que las prendas de Alganyl empezaban a estirarse en los tirantes y el cinturón, los principales puntos de carga. En lugar de ver la durabilidad como un inconveniente, acogemos la fugacidad de las prendas de Alganyl como una oportunidad para la creatividad y la fabricación constante.

En el contexto de este trabajo, reconocemos que Alganyl no reducirá todos los residuos de la industria de la moda, sobre todo porque su similitud con el vinilo dificulta que actúe como sustituto de las prendas de algodón. También somos conscientes de que la eficacia de la biodegradabilidad de Alganyl depende en gran medida de la actividad microbiana del suelo en que se coloca y de las condiciones ambientales. Sin embargo, creemos que, si los diseñadores utilizan nuestros tres principios rectores (materialidad, accesibilidad y sustentabilidad), la ropa y el proceso de confección podrán ser más respetuosos con el medio ambiente.

A pesar de estas limitaciones, imaginamos que la ropa de Alganyl puede ser usada en eventos como festivales de música y arte. Sin embargo, pensamos principalmente en Alganyl como un artefacto que *suscita conversaciones y fomenta la reflexión por parte de los usuarios*. Consideramos que Alganyl es un vehículo para contar historias y que anima a los usuarios a imaginar un futuro en que la gente confecciona su propia ropa, no solo para ser más sustentable desde el punto de vista medioambiental, sino también para establecer relaciones más profundas con el vestuario y utilizarlo como una forma totalmente autónoma de autoexpresión.

Reflexiones

No teníamos ninguna experiencia en la confección de ropa antes de embarcarnos en este viaje con Alganyl, lo que nos llevó a utilizar patrones de ropa estandarizados que finalmente adaptamos al cuerpo de una persona, así como a diseñar en función de sus preferencias estéticas. A través del proceso iterativo de confección, tanto la diseñadora como la usuaria utilizaron activamente sus sentidos para guiar la creación de cada prenda, lo que hizo que ambas se implicaran emocionalmente con cada una de ellas. Tanto la diseñadora como la usuaria se preocuparon por la sensación, el aspecto y el comportamiento de la ropa en el cuerpo, las historias que contaba cada prenda y su ciclo de vida. También nos dimos cuenta de que la ropa se impregnaba con los recuerdos y las experiencias de la diseñadora a través del proceso de confección, del mismo modo que la ropa se impregna de recuerdos y experiencias cuando se lleva puesta.

Nos pareció que llevar prendas de Alganyl constituía una experiencia mucho más significativa que llevar ropa comprada en una tienda, porque la relación entre la ropa y la usuaria se había desarrollado más: la usuaria había participado en el proceso de diseño y confección de cada pieza. Aunque presentamos la ropa de Alganyl translúcida sobre otras prendas por motivos relacionados con el pudor (Figura 4), la ropa se siente suave y cómoda sobre la piel y puede llevarse directamente sobre el cuerpo, como ya se ha comentado. Debido a nuestro sentimiento de orgullo por cada pieza creada, nos sentimos considerablemente decepcionadas y tristes cuando nuestros artículos se rompieron y ya no pudieron ser usados. Sin embargo, encontramos la belleza implícita en la fugacidad de nuestras prendas y nos inspiramos en la estética Wabi-Sabi, que fomenta la idea de que los artefactos no están destinados a durar mucho tiempo (Tsaknaki & Fernaeus, 2016).

Por último, imaginamos que los diseñadores y quienes investigan en el ámbito de la HCI podrán explorar una variedad de aplicaciones para el Alganyl, desde *wearables* inteligentes que utilizan pigmentos termocrómicos o fotocromáticos hasta dispositivos médicos que aprovechan la biocompatibilidad de Alganyl, pasando por piezas artísticas que resaltan su temporalidad exponiéndolo al agua o a la tierra. Desde el punto de vista de la moda, vemos la oportunidad de fabricar una nueva

pieza de ropa cada día mediante la recocción, para explorar lo fácil que es crear ropa de Alganyl y cómo los usuarios pueden expresarse a través de la fabricación y el uso diario de ropa de Alganyl. Y aún más importante, nos entusiasma crear nuevas prendas y accesorios mediante el proceso de recocción, lo que confiere múltiples vidas a nuestras prendas: los recuerdos de cada prenda se llevan dentro del propio material.

CONCLUSIÓN

Alganyl es un biotextil DIY que se basa en experiencias somáticas y adopta los principios de materialidad, accesibilidad y sustentabilidad. Nuestro proceso de diseño replicable con Alganyl implica la cocción del material en la cocina del diseñador, seguido del corte y el sellado térmico para crear la ropa. Además de nuestro proceso de diseño altamente personalizable y corporizado, también abordamos el ciclo de vida de la ropa de Alganyl, prestando atención al final de la vida de la ropa, que abordamos ofreciendo una técnica de recocción y analizando la degradación de Alganyl en el compost. Para terminar, utilizamos Alganyl para imaginar un futuro en el cual personas de cualquier procedencia puedan fabricar su ropa en su cocina, utilizando materiales renovables y de bajo costo. Además, imaginamos esta futura ropa como una forma autónoma de autoexpresión que tiene un impacto mínimo en el medio ambiente. □

REFERENCIAS

- ALISTAR, M., & PEVERE, M. (2020). Semina Aeternitatis: Using Bacteria for Tangible Interaction with Data. *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–13. <https://doi.org/10.1145/3334480.3381817>
- BAKER, J. (2018, 22 de octubre). Kombucha Jacket Lands HSC Student Heather in the London College of Fashion. *The Sydney Morning Herald*. <https://www.smh.com.au/national/nsw/kombucha-jacket-lands-hsc-student-heather-in-the-london-college-of-fashion-20181012-p509ea.html>
- BARRETT, A. (2019, 8 de julio). *First Clothes Made from Bioplastics*. Bioplastics News. <https://bioplasticsnews.com/2019/07/08/first-clothes-made-from-bioplastics/>
- BELL, F., HONG, A., DANIELESCU, A., MAHESHWARI, A., GREENSPAN, B., ISHII, H., DEVENDORF, L., & ALISTAR, M. (2021). Self-deStaining Textiles: Designing Interactive Systems with Fabric, Stains and Light. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–12. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445155>
- BUCHENAU, M., & SURI, J. F. (2000). Experience Prototyping. *Proceedings of the 3rd Conference on Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, and Techniques*, 424–433. <https://doi.org/10.1145/347642.347802>
- CARNEY ALMROTH, B. M., ÅSTRÖM, L., ROSLUND, S., PETERSSON, H., JOHANSSON, M., & PERSSON, N.-K. (2018). Quantifying Shedding of Synthetic Fibers from Textiles; a Source of Microplastics Released into the Environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 1191–1199. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0528-7>

- DIYBIO. (s.f.). *An Institution for the Do-It-Yourself Biologist*. DIYbio. <https://diybio.org/>
- DUNNE, M. (2018). *Bioplastic Cook Book for FabTextiles: A Catalogue of Bioplastic Recipes*. Fab Lab Barcelona. <http://fabtextiles.org/bioplastic-cook-book/>
- ELVIN, G. (2015). *Post-Petroleum Design*. Routledge.
- EMADIAN, S. M., ONAY, T. T., & DEMIREL, B. (2017). Biodegradation of Bioplastics in Natural Environments. *Waste Management*, 59, 526–536. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006>
- FASTE, H. (2017). Intuition in Design. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 3403–3413. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025534>
- GIACCARDI, E., & KARANA, E. (2015). Foundations of Materials Experience: An Approach for HCI. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2447–2456. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702337>
- GITA, S., HUSSAN, A., & CHOUDHURY, T. G. (2017). Impact of Textile Dyes Waste on Aquatic Environments and its Treatment. *Environment and Ecology*, 35(3C), 2349–2353.
- GWILT, A. (2020). *A Practical Guide to Sustainable Fashion*. Bloomsbury.
- HAHN, J. (2019, 5 de noviembre). Charlotte McCurdy Creates “Carbon-negative” Raincoat from Algae Bioplastic. *Dezeen*. <https://www.dezeen.com/2019/11/05/charlotte-mcurdy-bioplastic-raincoat-2/>
- HAHN, J. (2020, 22 de agosto). Tômtex is a Leather Alternative Made from Waste Seafood Shells and Coffee Grounds. *Dezeen*. <https://www.dezeen.com/2020/08/22/tomtex-leather-alternative-biomaterial-seafood-shells-coffee/>
- HII, S.-L., LIM, J.-Y., ONG, W.-T., & WONG, C.-L. (2016). Agar from Malaysian Red Seaweed as Potential Material for Synthesis of Bioplastic Film. *Journal of Engineering Science and Technology*, 11(SOMChE 2015), 1–15.
- HOLSTIUS, D., KEMBEL, J., HURST, A., WAN, P.-H., & FORLIZZI, J. (2004). Infotropism: Living and Robotic Plants as Interactive Displays. *Proceedings of the 5th Conference on Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, and Techniques*, 215–221. <https://doi.org/10.1145/1013115.1013145>
- KALE, G., KIJCHAVENGKUL, T., AURAS, R., RUBINO, M., SELKE, S. E., & SINGH, S. P. (2007). Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview. *Macromolecular Bioscience*, 7(3), 255–277. <https://doi.org/10.1002/mabi.200600168>
- KARANA, E., BARATI, B., ROGNOLI, V., & ZEEUW VAN DER LAAN, A. (2015). Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences. *International Journal of Design*, 9(2), 35–54.
- KRETZER, M., ROMAN, M., & PANTAZIS, E. (2021). Bioplastics: Cooking Bioplastics from Gelatine. *Materiability Research Group*. <http://materiability.com/bioplastics-2/>
- KUZNETSOV, S., DOONAN, C., WILSON, N., MOHAN, S., HUDSON, S. E., & PAULOS, E. (2015). DIYbio Things: Open Source Biology Tools as Platforms for Hybrid Knowledge Production and Scientific Participation. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 4065–4068. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702235>
- KWONG, O.-Y. (2011). *Bio-plastic Handbook*. <https://issuu.com/oi-ying/docs/bio-plastic-handbook2>
- LACKNER, M. (2015). Bioplastics. En *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* (pp. 1–41). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0471238961.koe00006>

- LAGARON, J., SANCHEZ-GARCIA, M., & GIMENEZ, E. (2008). Thermoplastic Nanobiocomposites for Rigid and Flexible Food Packaging Applications. En E. Chiellini (Ed.), *Environmentally Compatible Food Packaging* (pp. 63–89). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845694784.1.63>
- LAZARO VASQUEZ, E. S., & VEGA, K. (2019). Myco-accessories: Sustainable Wearables with Biodegradable Materials. *Proceedings of the 23rd International Symposium on Wearable Computers*, 306–311. <https://doi.org/10.1145/3341163.3346938>
- LAZARO VASQUEZ, E. S., WANG, H.-C., & VEGA, K. (2020). Introducing the Sustainable Prototyping Life Cycle for Digital Fabrication to Designers. *Proceedings of the 2020 ACM Designing Interactive Systems Conference*, 1301–1312. <https://doi.org/10.1145/3357236.3395510>
- LEE, S. A., BUMBACHER, E., CHUNG, A. M., CIRA, N., WALKER, B., PARK, J. Y., STARR, B., BLIKSTEIN, P., & RIEDEL-KRUSE, I. H. (2015). Trap it! A Playful Human-Biology Interaction for a Museum Installation. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2593–2602. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702220>
- LEE, Y. A. (2016). *Case Study of Renewable Bacteria Cellulose Fiber and Biopolymer Composites in Sustainable Design Practices*. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0522-0_6
- LUCHTMAN, L., & SIEBENHAAR, I. (s.f.). *Living Colour*. <https://livingcolour.eu/>
- MACHMUD, M. N., FAHMI, R., ABDULLAH, R., & KOKARKIN, C. (2013). Characteristics of Red Algae Bioplastics/Latex Blends under Tension. *International Journal of Science and Engineering*, 5(2), 81–88. <https://doi.org/10.12777/ijse.5.2.81-88>
- MERRITT, T., HAMIDI, F., ALISTAR, M., & DEMENEZES, M. (2020). Living Media Interfaces: A Multi-Perspective Analysis of Biological Materials for Interaction. *Digital Creativity*, 31(1), 1–21. <https://doi.org/10.1080/14626268.2019.1707231>
- NG, A. (2017). Grown Microbial 3D Fiber Art, Ava: Fusion of Traditional Art with Technology. *Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*, 209–214. <https://doi.org/10.1145/3123021.3123069>
- NIINIMÄKI, K., PETERS, G., DAHLBO, H., PERRY, P., RISSANEN, T., & GWILT, A. (2020). The Environmental Price of Fast Fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(4), 278–278. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>
- NÚÑEZ-PACHECO, C., & LOKE, L. (2018). Towards a Technique for Articulating Aesthetic Experiences in Design using Focusing and the Felt Sense. *The Design Journal*, 21(4), 583–603. <https://doi.org/10.1080/14606925.2018.1467680>
- OFER, N., BELL, F., & ALISTAR, M. (2021). Designing Direct Interactions with Bioluminescent Algae. *Designing Interactive Systems Conference 2021*, 1230–1241. <https://doi.org/10.1145/3461778.3462090>
- ORTH, M., POST, R., & COOPER, E. (1998). Fabric Computing Interfaces. *CHI 98 Conference Summary on Human Factors in Computing Systems*, 331–332. <https://doi.org/10.1145/286498.286800>
- PARISI, S., BOLZAN, P., STEPANOVIC, M., VARISCO, L., & MARIANI, I. (2021). Between Digital and Physical. Envisioning and Prototyping Smart Material Systems and Artifacts from Data Informed Scenarios. *Design Culture(s). Cumulus Conference Proceedings Roma 2021*, 2, 181–198.
- PARISI, S., ROGNOLI, V., & SONNEVELD, M. (2017). Material Tinkering. An Inspirational Approach for Experiential Learning and Envisioning in Product Design Education. *The Design Journal*, 20(sup1), S1167–S1184. <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1353059>

- PETERSEN, K., VÆGGEMOSE NIELSEN, P., BERTELSEN, G., LAWThER, M., OLSEN, M. B., NILSSON, N. H., & MORTENSEN, G. (1999). Potential of Biobased Materials for Food Packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 10(2), 52–68. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00019-9)
- PIERRE-LOUIS, K. (2019, 25 de septiembre). How to Buy Clothes That Are Built to Last. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/interactive/2019/climate/sustainable-clothing.html>
- POUPYREV, I., GONG, N.-W., FUKUHARA, S., KARAGÖZLER, M. E., SCHWESIG, C., & ROBINSON, K. E. (2016). Project Jacquard: Interactive Digital Textiles at Scale. *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 4216–4227. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858176>
- RASPANTI, C. (2020, 27 de octubre). *Biofabricating Materials*. <https://class.textile-academy.org/classes/2020-21/#biofabricating-materials>
- ROGNOLI, V. (2010). A Broad Survey on Expressive-sensorial Characterization of Materials for Design Education. *METU Journal of the Faculty of Architecture*, 287–300. <https://doi.org/10.4305/METU.JFA.2010.2.16>
- ROGNOLI, V., & PARISI, S. (2021). Material Tinkering and Creativity. En L. Cléries, V. Rognoli, S. Solanki, & P. Llorach (Eds.), *Material Designers. Boosting Talent Towards Circular Economies* (pp. 20–25). MaDe.
- SALEM, B., CHEOK, A., & BASSAGANYES, A. (2008). BioMedia for Entertainment. En S. M. Stevens & S. J. Saldamarco (Eds.), *Proceedings of the 7th International Conference on Entertainment Computing* (pp. 232–242). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89222-9_31
- SHAH, A. A., HASAN, F., HAMEED, A., & AHMED, S. (2008). Biological Degradation of Plastics: A Comprehensive Review. *Biotechnology Advances*, 26(3), 246–265. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005>
- SHIRVANIMOGHADDAM, K., MOTAMED, B., RAMAKRISHNA, S., & NAEBE, M. (2020). Death by Waste: Fashion and Textile Circular Economy Case. *Science of The Total Environment*, 718, 137317. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137317>
- SOUSA, A. M. M., SERENO, A. M., HILLIOU, L., & GONÇALVES, M. P. (2010). Biodegradable Agar Extracted from *Gracilaria Vermiculophylla*: Film Properties and Application to Edible Coating. *Materials Science Forum*, 636–637, 739–744. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.636-637.739>
- TABASSUM, A. (2016). Biofilms from Agar Obtained from an Agarophyte of Karachi Coast. *Pakistan Journal of Marine Sciences*, 25(1 & 2), 37–40.
- TANAKA, H., & KURIBAYASHI, S. (2007). Botanical Interface Design—Creative Kits, Tools, and Methods. *3rd IET International Conference on Intelligent Environments*, 2007, 577–584. <https://doi.org/10.1049/cp:20070429>
- TSAKNAKI, V., & FERNAEUS, Y. (2016). Expanding on Wabi-Sabi as a Design Resource in HCI. *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 5970–5983. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858459>
- WEBER, C. J. (2000). *Biobased Packaging Materials for the Food Industry: Status and Perspectives, a European Concerted Action*. KVL Department of Dairy and Food Science.
- YAO, L., OU, J., CHENG, C.-Y., STEINER, H., WANG, W., WANG, G., & ISHII, H. (2015). bioLogic: Natto Cells as Nanoactuators for Shape Changing Interfaces. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–10. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702611>