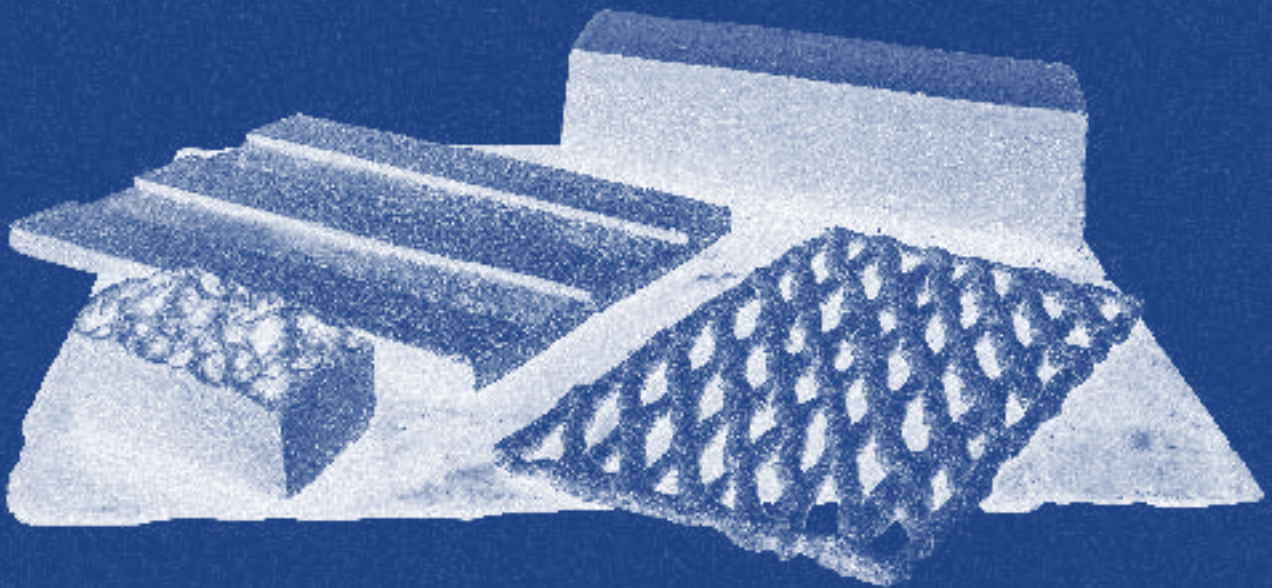




**diseño|uc**  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Escuela de Diseño

# Calcáreo.

biomateria emergente



Alumna  
**Carolina Pacheco Glen**  
Profesor Guía  
**Alejandro Durán**

Tesis presentada a la Escuela de Diseño  
de la Pontificia Universidad Católica de  
Chile para optar al título de diseñador

Julio 2019, Santiago de Chile



# Calcáreo.

**biomateria emergente**

Alumna

**Carolina Pacheco Glen**

Profesor Guía

**Alejandro Durán**

Julio 2019, Santiago de Chile

Tesis presentada a la Escuela de Diseño  
de la Pontificia Universidad Católica de  
Chile para optar al título de diseñador



**DISEÑO | UC**

Pontificia Universidad Católica de Chile  
Escuela de Diseño



## Gracias

A mi familia por el apoyo incondicional, por subirme el ánimo cuando lo necesitaba y motivarme siempre a seguir adelante.

A mi profesor guía, Alejandro Durán, por confiar en mis capacidades, apoyar siempre mis decisiones y por la paciencia y tranquilidad que siempre me transmitiste.

A mis compañeros y amigos del Laboratorio Biofab y Labva, por haberme acompañado y guiado en todo este proceso, por las oportunidades que me dieron para explorar con ustedes y por el cariño y confianza que siempre me hicieron sentir.

Espero que estas páginas sirvan para cualquier mente curiosa y creativa que le interese introducirse en el mundo de la biofabricación para el diseño y que la red de colaboración nunca deje de expandirse.



# Abstract

## Resumen del Proyecto

La necesidad de nuevos materiales sustentables, y con ciclos regenerativos de producción, es latente en el diseño de productos y materiales de uso diario. Frente a esta problemática mundial, emerge la necesidad de reutilizar residuos de las industrias o diseñar a partir de materia orgánica u organismos vivos capaces de descomponerse, como lo hace la naturaleza. En base a esto, los materiales biológicos proponen un sistema eficiente y regenerativo, el cual es posible replicar. La biofabricación, como incorporación de organismos vivos y procesos biológicos para la reproducción de materia prima, ha adquirido cada vez más interés y relevancia en el desarrollo de las disciplinas creativas. En este sentido, la presente investigación propone un enfoque sistemático para la creación de un biomaterial a partir del estudio y análisis de la materia natural y emergente.

En primera instancia, se realiza un análisis biomimético de los materiales en la naturaleza. Luego, se elige un tipo de ecosistema natural que permita identificar especies y materiales relevantes para la investigación. A su vez, se establece un análisis de los distintos niveles organizacionales dentro de los sistemas biológicos, para así enfocarse en un fenómeno o en una especie relevante que permita el desarrollo de un biomaterial. Luego, su elección requiere determinar la disponibilidad local y accesibilidad, la relevancia medioambiental o impacto ecológico y finalmente, su posible reproducción bajo criterios de reproducción como biofabricación.

Para el caso de estudio, se investiga la relevancia del ecosistema marino, como origen de las especies. En consecuencia, se destaca el rol del carbonato de calcio como remediador ambiental mediante la fijación del carbono en exoesqueletos de organismos marinos. A partir de esto, se define el uso de carbonato de calcio, proveniente de residuos de conchas, y la elaboración de un biocompuesto aglomerado con polisacáridos de algas.

Por consiguiente, se realizan experimentos con recetas de materiales de plataformas de código abierto (Materiom) para luego desarrollar una matriz experimental que



FIG.1,2 & 3 - ELABORACIÓN PROPIA

permita el desarrollo y conocimiento de la materia en su totalidad. El resultado final propone un conjunto de 3 recetas a partir de un biocompuesto denominado “Calcáreo”. Éste pretende su uso en distintas formas y procesos de diseño, mediante la fabricación de moldes y guías denominados como “ecosistemas”. La implementación del proyecto propone la transferencia de la investigación hacia diseñadores y creativos, mediante la elaboración de talleres o workshops presenciales, habilitar las recetas en distintas plataformas de código abierto y la elaboración de papers o artículos académicos.

Este proyecto cuenta con la colaboración de distintos actores en el escenario nacional e internacional de la biofabricación, con quienes se realiza un viaje de investigación, además de talleres de biomateriales abiertos. Calcáreo es llevado a cabo en el Laboratorio de Biomateriales FADEU como una investigación que se proyecta para ser financiada por un fondo nacional en el 2020 junto al Laboratorio de Fabricación Digital de la Universidad de Chile.

# Contenidos //

## O. MATERIA EMERGENTE 15

---

NUESTRA RELACIÓN CON LOS MATERIALES	16
MATERIALES EN EL DISEÑO	18
DE PRODUCCIÓN AUTÓNOMA	19
DE CICLO CERRADO	21

## FORMULACIÓN INVESTIGACIÓN 22

---

OPORTUNIDAD DE DISEÑO	OBJETIVOS
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA
HIPÓTESIS	PROYECTUAL

## 1. BIOFABRICACIÓN 26

---

CONCEPTO EN DISEÑO	28	ACTORES NACIONALES	34
INTERACCIÓN DISCIPLINAR	30	SEMANA DE LA BIOFABRICACIÓN	37
		TALLER DE BIOFABRICACIÓN	40

## 2. BIOCOMPUESTOS 43

---

MATERIALES BIOLÓGICOS	44	VIAJE DE INVESTIGACIÓN	76
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	46	E.Nº1, MATRIZ EXPERIMENTAL	81
CLASIFICACIÓN	48	FABLAB AUSTRAL	83
SIMBIOSIS DE SUSTANCIAS	50	GRANJA MARINA	84
COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL	51	CHAUQUEAR	
BIOMATERIA EMERGENTE	52	TALLER DE	86
CACO <sub>3</sub> DE MOLUSCOS	54	BIOMATERIALES	
DERIVADOS DE ALGAS	66		



---

OPORTUNIDAD DE DISEÑO  
QUE //POR QUÉ // PARA QUÉ  
OBJETIVO GENERAL  
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

**3. CARACTERIZACIÓN****89**

---

CONOCIMIENTO DE LA MATERIA	90	E.Nº2, MATERIAL TINKERING	98
EXPERIENCIA MATERIAL	91	E.Nº3, ALGINATO VS $\text{CaCO}_3$	101
MATERIAL DRIVEN DESIGN	92	E.Nº4, ALGINATO VS $\text{CaCO}_3$	104
REFERENTES	94	WORKSHOP	106
		BIOCOMPUESTOS	

**3. CALCÁREO****113**

---

METODOLOGÍA ELABORADA	114	DIVULGACIÓN Y TRANSFERENCIA	132
ESPECIES MATERIALES	116	COLABORACIÓN Y APLICACIONES	
SUSTANCIAS Y QUÍMICOS	118	DOCUMENTACIÓN Y REGISTRO	134
ENTIDADES MATERIALES	120	PROYECCIONES	
MEDIOS DE FABRICACIÓN	123		
ECOSISTEMAS DE PRODUCCIÓN	124		
CICLO DE VIDA	129		





FIG.4 -  $\text{CaCO}_3$   
PROYECTO QUE RESPONDE LA  
PREGUNTA DE ¿CÓMO HACER  
CRECER UNA ESTALACTITA DE  
FORMA CONTROLADA?  
-  
THOMAS VAILLY, 2014

## Introducción

Estamos viviendo un nuevo paradigma de producción y consumismo en donde nuestra relación con la materia es más consciente e inquieta. Nuevos desafíos están emergiendo frente a nuestra interacción con el planeta y el modo en el que diseñamos debe ser cada vez más eficiente para así evitar generar un impacto negativo. Es a partir de esto que los diseñadores están reinventando sus prácticas y desarrollando nuevas formas de trabajar con lo que los rodea. Estos enfoques radicales consideran el uso de desechos extremos, como también reproducción de organismos biológicos y nuevas conexiones materiales que prometen un futuro de producción regenerativa y autosustentable. El diseño de los materiales necesita de la colaboración y el intercambio de conocimiento entre distintas disciplinas para resolver los desafíos a los que nos vemos enfrentados. El cruce entre el conocimiento biológico y el diseño de materiales está directamente relacionado. El poder diseñar como lo hace la naturaleza, con una serie de ingredientes regenerativos y abundantes, a baja temperatura, presión atmosférica y en soluciones acuosas, nos permitiría el desarrollo de una gama de materiales con un ciclo de vida eficiente y sustentable. La biofabricación, como práctica emergente en el campo del diseño, propone la utilización de organismos vivos

y/o derivados de ellos como fuente de materia prima para su uso en objetos y productos de uso diario. El uso de mecanismos de descomposición y reutilización de la materia es necesario para repensar la forma en la que ocupamos los materiales que nos rodean. Es a partir de estos principios y manifiesto en el cual el proyecto Calcáreo se desarrolla y pretende el desglose teórico y conceptual de la información asociada a esta práctica disciplinar. Estas páginas pretenden introducir al mundo de los biomateriales y la biofabricación en el diseño como una guía de investigación proyectual.

*“We pet the smooth surface of a ceramic vase, we tap on a wooden box and hear the vibrant sound, we watch the water drops on a glass window, we smell a new leather case, and so forth. These material-user interactions are modulated in time, across cultures and individuals, and in different contexts of use. Designers have a responsibility to consider each of these variables when taking material decisions.”*

KARANA, PEDGLEY & ROGNOLI, 2014

FIG.5 - MERDACOTTA  
VAJILLA DE ESTIÉRCOL  
DE VACA PROCESADA

GIANANTONIO LOCATELLI  
& LUCA CIPELLETTI  
ITALIA, 2016



# Nuestra relación con los materiales

## Relevancia / Contexto

A lo largo de la historia, los seres humanos hemos descubierto todo tipo de materiales que nos han permitido desarrollar herramientas y artefactos para contribuir a nuestra formación como sociedad (Corbin, 2018). Son estos artefactos los que nos permiten interactuar con nuestro entorno y es a través de ellos que podemos hacer todas las actividades que realizamos diariamente. Esta relación que se ha generado con el tiempo, ha normalizado nuestro vínculo con ellos, hasta el punto en el que su función pasa desapercibida. Sin embargo su rol en nuestra rutina es imprescindible y dependemos de ellos para poder desempeñarnos.

Actualmente estamos viviendo una revolución en la forma de entender y usar los materiales y que nos podría permitir equilibrar nuestra relación con el planeta. Hasta ahora, los procesos de producción se basan en el uso de materias primas que son transportadas a grandes fábricas para luego ser convertidas en nuevos compuestos y en productos industrializados que son distribuidos por todas partes del mundo. Estos materiales sintéticos son luego utilizados por un corto periodo de tiempo y desechados generando un flujo continuo de residuos. (Franklin & Till, 2018) Es evidente que este sistema extractivo y de generación de residuos no es sostenible en el tiempo

y estamos acabando con los recursos necesarios para seguir produciendo los artefactos que usamos hoy en día en un ciclo que no es regenerativo. Es a partir de esta realidad que se necesita un nuevo enfoque transdisciplinar, capaz de abordar el problema desde distintas áreas de conocimiento que generen nuevas posibilidades virtuosas y regenerativas. En la búsqueda de entender a la materia como un agente revelador y determinante para el desarrollo de nuevos productos, las disciplinas se fusionan, los diseñadores se convierten en científicos, los arquitectos en alquimistas y los artesanos emprendedores sociales.

FIG. 6 - ALGAEMY  
PROYECTO TEXTIL QUE  
EXPLORA LAS POSIBILIDADES  
DE TEÑIR CON MICROALGAS  
-  
BLOND & BIEBER, BERLÍN, 2014





FIG.7 - MATERFAD  
CENTRO DE MATERIALES DE BARCELONA

## Materiales en el Diseño

En el diseño de productos los materiales sirven para tangibilizar el concepto de estudio y concretar la experiencia e interacción con el usuario. Regularmente los diseñadores y arquitectos se esmeran en la selección de materiales para poder conceptualizar sus diseños. Esta toma de decisiones está definida por las propiedades que son requeridas por el producto o estructura, como también por el impacto ecológico y la sustentabilidad de dicho material (Karana, Pedgley, & Rognoli, 2014).

En el libro "Material Experiences" (2014), los editores, Elvin Karana, Valentina Rognoli y Owain Pedgley estudian y exponen la forma en cómo nos relacionamos con los materiales (Fig. 1) En estos enfoques se muestra al creativo como un actor pasivo que no participa en la creación del material para aplicaciones de diseño. Es con base en esto que los editores se cuestionan la relación del diseñador con los materiales y plantean un nuevo enfoque para explorar la materialidad desde una perspectiva sensorial. Proponen una relación basada en la experiencia, en donde priorizan los significados y emociones, así como a la estética y sensación que estos logran transmitir a los diseñadores y a los usuarios. En este sentido, el diseñador se ve influenciado por entender las nuevas materialidades desde un enfoque

más cognitivo y cultural en donde no solo analiza las fichas científicas asociadas al performance funcional y mecánico, si no que también aporta con un conocimiento personal, emocional y social (Louise, Buur, Lonne, & Nimkulrat, 2015). Para el contexto de estudio de esta investigación, se busca el desarrollo de una materialidad sensorial e interactiva.

### 1. SELECCIÓN DE MATERIALES PARA APLICACIONES

"MATERIALS FOR INSPIRATION"  
CHRIS LEFTERI, 2003

"TRANS- MATERIALS"  
BLAINE BROWNELL, 2006

### 2. SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA INGENIERÍA MECÁNICA

"MATERIALS SELECTION IN  
MECHANICAL DESIGN"  
MICHAEL F. ASBBY, 1992

"FUNDAMENTALS OF MODERN  
MANUFACTURING: MATERIALS,  
PROCESSES, AND SYSTEMS"  
MIKELL P. GROOVER 1996

### 3. SELECCIÓN DE MATERIALES PARA EL DISEÑO

"THE MATERIAL OF INVENTION"  
ENZIO MANZINI 1986

"MATERIALS AND DESIGN"  
MIKE ASHBY &  
KARA JOHNSON 2002



FIG. 8 - FROM INSECTS  
MATERIAL HECHO A PARTIR DE  
PROPÓLEO DE INSECTOS  
-  
MARLENE HUISSOUD, INGLATERRA, 2016



## De producción autónoma

Los diseñadores se ha involucrado cada vez más en entender el origen de los materiales y el desempeño en el ciclo de vida de los productos. Esto ha generado una transferencia de conocimiento en cuanto a cómo involucrarse en la creación de nuevos materiales y sus procesos de producción. Estas prácticas las podemos conocer comúnmente con el término coloquial de “Hazlo tu Mismo” o “DIY”, donde se lleva a cabo un proceso de manera autóctona y autosuficiente que muchas veces son de invención de la persona (Rognoli, Bianchini, Maffei, & Karana, 2015). Esto también muestra cómo, a través de la experimentación práctica, los diseñadores han explorado nuevas posibilidades para los materiales, desarrollando diversas variantes que difieren en las cualidades funcionales o expresivas. En otras palabras, los diseñadores consideran los materiales menos como entidades “dadas” y “conocidas” y más como un conjunto de herramientas potenciales que pueden adaptarse, moldearse y ajustarse a una aplicación específica del producto. Esto a su vez, les ha permitido dejar de ser diseñadores “pasivos” al adquirir un compromiso activo con el material mismo, lo que también les otorga un control sobre el origen de sus productos, el manejo de la aplicación y el término del ciclo de vida (Karana & Camere, 2018).





FIG.9 - TERROIR PROJECT  
 MATERIAL LOCAL HECHO A PARTIR DE  
 ALGAS PARDAS Y PAPEL RECICLADO  
 -  
 JONAS EDVARD & NICOLAS STEENFAT  
 DINAMARCA, 2015

*Qué pasaría si los bienes, servicios y materiales fueran abundantes, en lugar de escasos? ¿Qué pasaría si creamos una economía basada en libre distribución y acceso respaldados por las últimas herramientas digitales? ¿Y si esa economía fuera regenerativa por diseño? Es decir, ¿podríamos devolver más de lo que sacamos y seguir prosperando? Imagina que todos los materiales que necesitamos para fabricar productos de uso diario fueran accesibles para todos. Luego imagina que puedes usar tecnologías y máquinas de fabricación para producirlos ya que compartimos las instrucciones de producción ante una audiencia mundial.*

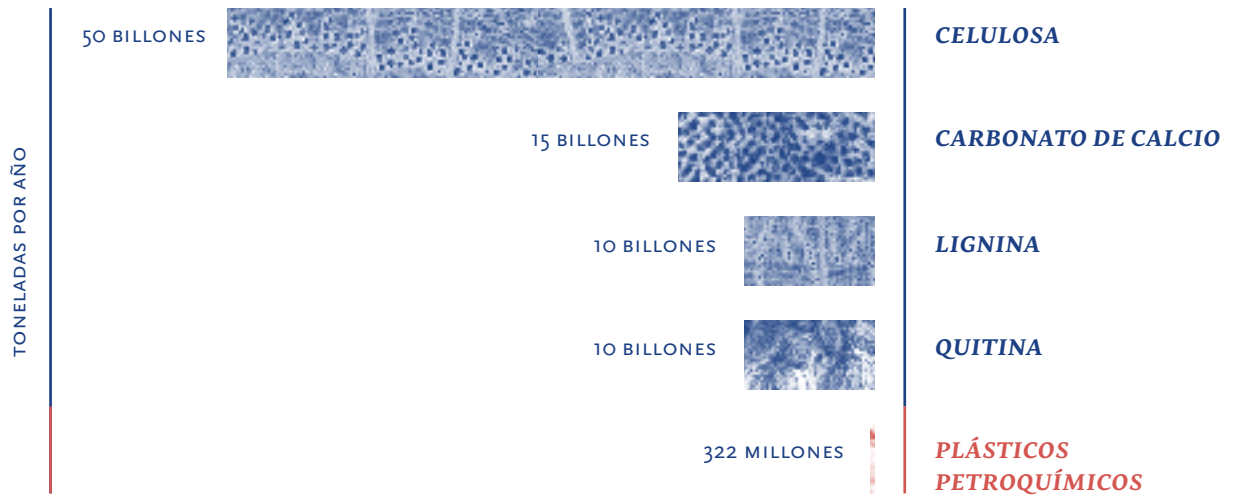
*System Reset, ThinkDif, 2018*

De esta manera se explora el uso de desechos o materia prima local, reduciendo la cantidad de residuos y material utilizado y obteniendo un acabado y estética que el usuario no quiere desechar. La valorización de este tipo de materia prima potencia una economía de libre acceso para aquellas personas interesadas en participar en el proceso de fabricación de un material. Además, existe una necesidad por parte de muchos usuarios de involucrarse en el proceso de diseño y de obtener productos personalizados (Rognoli et al., 2015). Estos procesos de fabricación pueden llevarse a cabo, tanto en laboratorios de prototipado, como en estudios de diseño o contextos domésticos.

El alto nivel de conectividad y acceso a plataformas y métodos de producción, ha generado una comunidad de personas interesadas en torno a la fabricación autosustentada. De esta manera, se han implementado talleres de prototipado digital a lo largo de todo el mundo, permitiendo espacios para compartir conocimiento en una red interconectada de educadores, investigadores, innovadores y “makers” (Fab Foundation, 2018). De la misma forma, se han desarrollado una serie de plataformas online que permiten el acceso a tecnologías y experimentación de código abierto

(Instructables, Thingiverse, Open Materials, Materiom, etc...). Esta interconectividad potencia la producción local especialmente en aquellos lugares donde no hay acceso a la manufactura industrial.

Pero, ¿es verdad que las personas quieren acceder a los productos de esta forma? Es decir, participar en el proceso de producción y manufactura? Josie Warden (2018), investigadora sénior en el equipo de Economía de la RSA (Real Sociedad para el fomento de las Artes, Manufacturas y Comercio), declara que hay un incremento en el interés de las personas en obtener productos bien hechos y dónde se enteren del origen, los procesos y ciclos de vida del producto. Un estudio de la RSA determinó que más de un 50% de personas declararon estar interesados en producir sus productos por ellos mismos. Si bien esto no quiere decir que lo harán, y tampoco tenemos que creer que todo el mundo está interesado en esto, nos lleva a pensar que hay un grupo que si efectivamente está interesado (ThinkDif, 2018).



*Gráfico que muestra la relación entre la biomasa que genera la naturaleza anualmente vs la cantidad de plásticos petroquímicos generados por el hombre.  
Fuente: Alysia Garmulewicz*

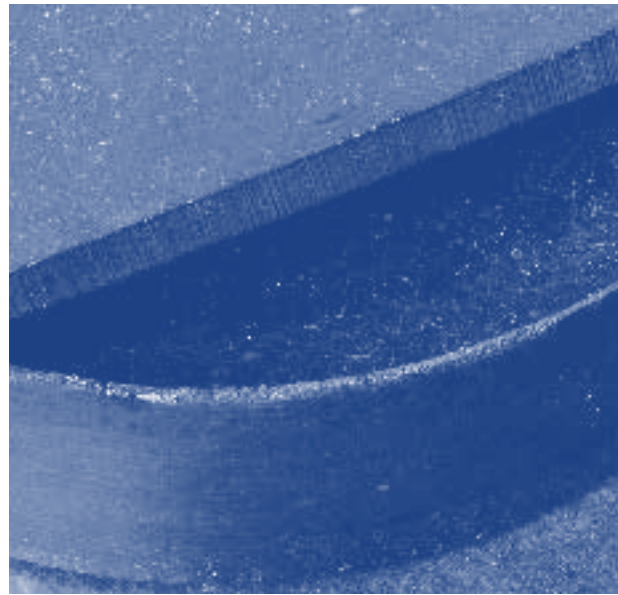
## De ciclo cerrado

Nuestra economía y medioambiente necesita de nuevos materiales sustentables y con ciclos continuos de producción. Hoy en día consumimos bajo un patrón de “toma y descarte” en base a una gama de materiales limitados que no son regenerativos. Un ejemplo de esto es la producción y nivel de consumo de plástico a nivel mundial. Este material sintético ha generado cambios irreversibles en nuestro planeta, saturando distintos ecosistemas e incluso acabando con la vida de muchos animales. Pero el problema de este material no tiene que ver con el volúmen con el que las industrias lo han producido. Es más, desde 1950 se han creado cerca de 8 billones de toneladas de plásticos (Geyer, Jambeck, & Law, 2017). Este número no se compara con los más de 100 billones de toneladas de biomasa que se producen anualmente en la naturaleza por plantas y animales (Kaplan, 1998) ¿Cuál es el problema entonces? La composición y los ingredientes que tienen los materiales de origen petroquímico y la poca reutilización de estos materiales en un ciclo cerrado como lo hace la naturaleza. Los materiales biológicos son producidos, luego utilizados por otros organismos para obtener nutrientes y finalmente se descomponen para que a partir de ellos se generen nueva biomasa (Materiom, 2019). Este ciclo de producción propone la utilización de recursos que

son capaces de crecer y auto-regenerarse para abastecer la demanda material. Una nueva economía tendrá que repensar los ingredientes que tienen los materiales de nuestros productos, y a su vez, su ciclo de vida.

El consumo excesivo de recursos escasos y la producción de materiales en base a petroquímicos ha impulsado al diseñador a utilizar materiales en base a residuos de desechos industriales, domésticos y vertederos. Estos pueden ser desde materiales sintéticos, a los que se les da un nuevo, uso como también nuevos materiales en base a residuos orgánicos o componentes biológicos. El uso de estos materiales nos permite cambiar nuestra relación con ellos, desde un modelo lineal de “toma y descarte” a un enfoque más cíclico al igual que lo hace la naturaleza (Franklin & Till, 2018). Es interesante porque los materiales resultantes de esta práctica no solo son inofensivos para el medio ambiente al ser reutilizables, si no que además pueden ser biodegradables, compostables o reutilizados para permitir el cultivo o creación de nuevos materiales al final de su ciclo de vida (Camere & Karana, 2018).

FIG.10 - BLOOD RELATED  
MATERIAL HECHO A PARTIR DE  
SANGRE DE VACUNOS, DESECHO  
DE LA INDUSTRIA GANADERA  
-  
BASSE STITTGEN, HOLANDA, 2016



## Proyecto de Investigación

### Oportunidad de diseño //

Frente a la necesidad del diseño de nuevos materiales y procesos productivos, la naturaleza provee un sistema digno de replicar. No solo en cuanto a la composición e ingredientes utilizados en los recursos biológicos, sino también por los procesos regenerativos y de reutilización. De este modo, la presente investigación propone un enfoque para el diseño de un material a partir del uso de un recurso renovable, proveniente de algún flujo de desechos y cuya composición posibilite su producción mediante un ciclo cerrado y regenerativo. En consecuencia, se establece la necesidad de entender la materia en su totalidad para generar conocimiento transferible y abierto a la comunidad de fabricantes, y así, potenciar la producción local con el uso de recursos disponibles en el entorno.

Entonces, ¿Por qué los materiales podrían ser relevantes para una investigación? ¿A qué nos referimos cuando hablamos del material como un “generador de conocimiento”? ¿Qué contribución pueden hacer las disciplinas creativas para la comprensión y la comunicación del conocimiento material en la investigación?

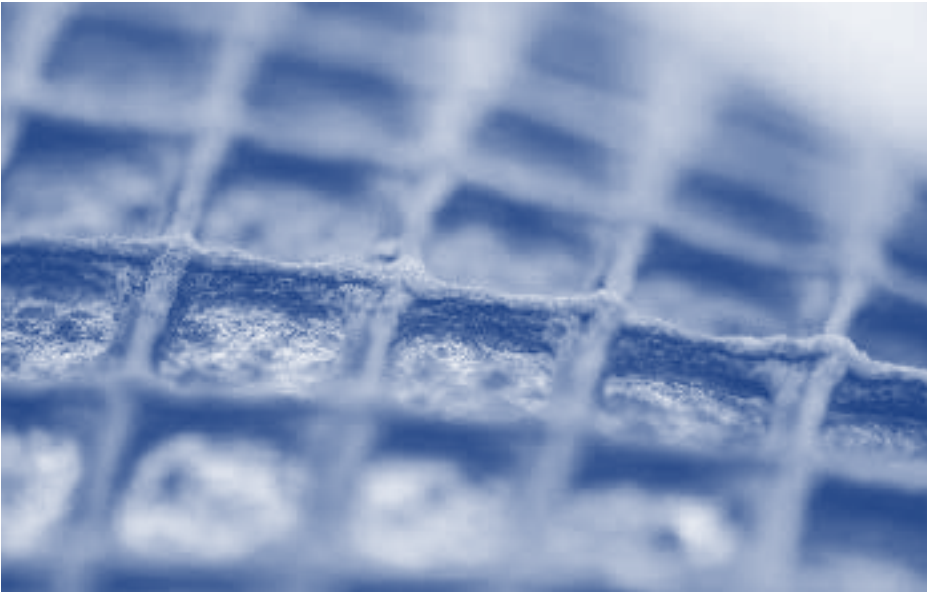


FIG.11 - AGUAHOJA  
MATERIAL HECHO EN BASE A QUITINA  
Y FABRICADO MEDIANTE PRINCIPIOS  
BIOMIMÉTICOS  
-  
MIT MEDIA LAB, EEUU, 2018

## **Pregunta de investigación //**

¿Mediante qué enfoque se puede desarrollar y diseñar un material de origen biológico a partir de la materia emergente y no a partir de lo que se necesita en un contexto en particular? ¿Qué medios y métodos pueden utilizarse para transferir y replicar el conocimiento generado a partir de este material?

## **Objetivo General //**

Desarrollo de una metodología proyectual para el diseño de un material renovable para distintas aplicaciones en diseño mediante el registro, documentación y transferencia del conocimiento adquirido.

## **Hipótesis //**

El estudio y análisis de los recursos y materiales biológicos permiten la comprensión de nuevos enfoques para el diseño de materiales renovables en una producción abierta, circular y regenerativa.

## Metodología Proyectual //

Al ser el proyecto de carácter teórico y práctico, se le denomina como investigación-acción, por lo que cada capítulo o sección cuenta con una búsqueda empírica sumado a un enfoque experimental. A continuación, se establece un orden de la metodología proyectual con los objetivos correspondientes para cada componente del proyecto que permitió el desarrollo de 'Calcáreo'.

### CAPÍTULO 1

## Biofabricación

UNA INTRODUCCIÓN AL ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN

### EJERCICIO TEÓRICO

#### 1.1 COMPRENDER

*Revisión teórica de los contenidos y el manejo de términos y conceptos claves para el desarrollo y análisis de un proyecto en biofabricación.*

### EJERCICIO PRÁCTICO

#### 1.2 CONOCER

*Reconocer e identificar los distintos actores y Laboratorios que se mueven en el contexto nacional de la biofabricación para entender sus metodologías, lógicas y motivaciones.*

### EJERCICIO TEÓRICO

#### 2.1 ANALIZAR

*Revisión biomimética para el desarrollo de pensamiento analítico y científico en cuanto a las posibilidades de explorar y experimental para la creación de un biomaterial.*

### CAPÍTULO 2

## Biocompuestos

DEFINIENDO EL CASO DE ESTUDIO

### EJERCICIO PRÁCTICO

#### 2.2 EXPERIMENTAR

*Trabajo en un contexto de desarrollo profesional y contacto con las metodologías y procesos de biofabricación en terreno.*

## CAPÍTULO 3 Caracterización Material

INFORMACIÓN Y CONOCIMIENTO DE LA MATERIA EXPERIMENTAL

### EJERCICIO TEÓRICO

#### 3.1 DEFINIR

*Metodologías y procesos de desarrollo de una experiencia material en el contexto y en aplicaciones de diseño.*

### EJERCICIO PRÁCTICO

#### 3.2 EVALUAR

*Sistematizar el desarrollo y experimentación formal con el material, para obtener información que evidencie el comportamiento y conocimiento de la materia.*

### EJERCICIO TEÓRICO

#### 4.1 DOCUMENTAR

*Registro y evaluación de la metodología proyectual como transferencia de conocimiento de la investigación.*

## CAPÍTULO 4 Biomateria emergente

CALCÁREO

### EJERCICIO PRÁCTICO

#### 4.2 PROYECTAR

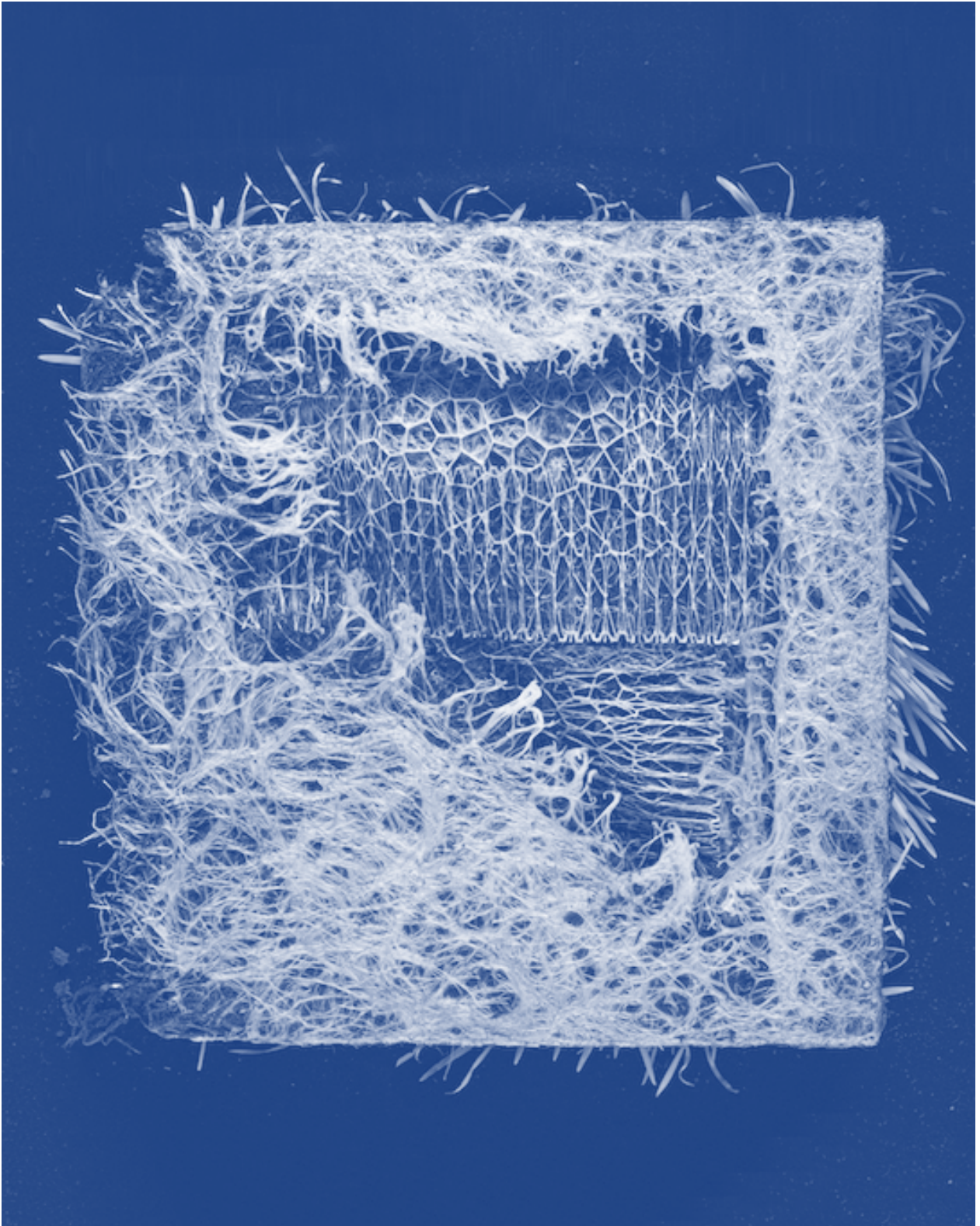
*Nuevos formatos de divulgación científica para el alcance a distintos públicos de interés.*

*“La biofabricación es una tecnología más que una ciencia. El prefijo “bio” implica que se trabaja con materia prima, procesos o productos que sean inspirados en la biología o basados en ella. Por el otro lado, el término “fabricación” significa hacer o construir algo utilizando un material en bruto o semiacabado para crear algo diferente de sus componentes.”*

MIRONOV ET.AL 2009

FIG.12 - INTERWOVEN  
RAICES DE PASTO CRECIENDO DE FORMA  
CONTROLADA POR UNA GUÍA  
-  
DIANA SCHERER, HOLANDA, 2016





BIOFABRICACIÓN

INTERACCIÓN DISCIPLINAR

CLASIFICACIÓN

# Biofabricación

## ¿Qué se entiende por este concepto?

La incorporación de procesos biológicos, para el desarrollo de tecnologías antrópicas ha ido incrementando su alcance interdisciplinar. Esto ha significado nuevas formas de relacionarnos con la naturaleza desde distintas perspectivas para nuestro beneficio. Tradicionalmente el concepto de “biofabricación” ha sido utilizado en el campo de la medicina y la biotecnología donde se define como: “la producción de productos biológicos complejos (tejidos u órganos) que proceden de células, moléculas, matrices extracelulares o biomateriales” (Mironov et al., 2009). Sin embargo, en la última década, artistas, diseñadores y arquitectos han adoptado el término para referirse a la incorporación de organismos vivos como materia prima o al reemplazo de mecanismos y/o sistemas industriales por procesos biológicos de crecimiento y reproducción para fabricar nuevos materiales (Camere & Karana, 2017; Myers, 2012). En esta área los materiales desarrollados pueden ser productos de uso diario, revestimientos o estructuras de construcción. En un principio esta rama creativa comprende el trabajo con hongos, algas y bacterias, sin embargo su alcance disciplinar ha permitido involucrar más procesos biológicos como el control de seda de orugas, raíces de plantas o minerales inorgánicos

*Orugas de seda construyendo sobre un pabellón de arquitectura de marcos de aluminio, hilados entre ellos por un brazo robótico.*



FIG.13 - SILK PAVILLION

MIT MEDIA LAB, EEUU, 2013

Esto ha permitido la experimentación y desarrollo de nuevas materialidades donde hay un pleno control de la apariencia y capacidades mecánicas de nuevas gamas estéticas que a la vez ofrecen procesos más sustentables de diseño (Camere & Karana, 2017). El espectro de potenciales aplicaciones está creciendo rápidamente lo que sugiere que la biofabricación puede convertirse en una plataforma tecnológica dominante y un nuevo paradigma para los métodos de producción en el siglo 21 (Mironov et al., 2009).



FIG.14 - MYCELIUM CHAIR  
DETALLE DE SILLA DE  
MICELIO DE HONGO  
-  
ERIK KLARENBECK, HOLANDA, 2013

## Interacción disciplinar: biología + diseño

La biofabricación se ha convertido en un tema de discusión en la última década, lo que ha convocado a distintos expertos a examinar esta relación y proponer nuevos enfoques interdisciplinarios. Algunas publicaciones se plantean cómo se abrirá la intersección del diseño y la fabricación biológica a nuevas formas de "hacer" y "producir" en el futuro (Collet & Gaskill, 2015). Mientras que otras relacionan el papel del diseño y el valor que le puede otorgar a la biología sintética al transformar la materia viva en un medio para la fabricación (Ginsberg et al., 2014). Por el otro lado, se han empleado diversas formas de "clasificar" los proyectos que se han desarrollado dentro de la intersección entre el diseño y la biología.

A continuación se muestran los tipos de clasificaciones que han adoptado estos proyectos interdisciplinarios. En primera instancia la académica, Carole Collet, agrupa 34 proyectos de diseño para la Exposición "This is Alive" (2013), en 5 categorías basadas en su posible relación con la naturaleza (Fig. 15).

De la misma forma, Karana y Camere (2018) analizan la clasificación de Collet (2013) y plantean otra clasificación de los materiales y proyectos de diseño hechos a partir de organismos vivos (Fig. 16).

Finalmente, otro tipo de clasificación, también relevante para la presente investigación, es la propuesta por Ayala-García y Rognoli (2017). Esta es empleada específicamente para materiales que son fabricados por los mismos diseñadores, pero como muchos de ellos involucran el uso de materiales biológicos, es considerada en este tipo de clasificación (Fig.17).

FIG.15 - AGRUPACIÓN PARA EXPOSICIÓN "THIS IS ALIVE"

## Collet, 2013

ROL DEL  
DISEÑADOR

PLAGIADORES	NUEVOS ARTESANOS	BIO-HACKERS	NUEVOS ALQUIMISTAS	AGENTES PROVOCADORES
INTERACCIÓN				
NATURALEZA COMO MODELO	NATURALEZA COMO COLABORADORA	NATURALEZA RE-PROGRAMADA	NATURALEZA HÍBRIDA	NATURALEZA CONCEPTUALIZADA
"NATURALEZA NATURAL"		"NATURALEZA PROGRAMABLE"		"NATURALEZA FICTICIA"
HERRAMIENTAS				
BIOMÍMESIS, BOTÁNICA, GASTRONOMÍA		BIOLOGÍA SINTÉTICA, NANOTECNOLOGÍA		DISEÑO ESPECULATIVO Y CRÍTICO

FIG.16 - AGRUPACIÓN "FABRICATING MATERIALS FOR LIVING ORGANISMS"

## Karana & Camere, 2018

CRECIMIENTO Y DISEÑO	BIOLOGÍA AUMENTADA	BIOFRABRICACIÓN DIGITAL	BIODISEÑO FICTICIO
<i>Se caracteriza por un desarrollo práctico, centrada en la experimentación de nuevos materiales para el diseño de productos.</i>	<i>Reingeniería de las células para diseñar nuevos organismos biológicos que puedan ayudar a enfrentar los desafíos sociales contemporáneos, como el hambre, las enfermedades y la escasez de energía.</i>	<i>En este caso, los diseñadores combinan herramientas biológicas con tecnología informática o maquinaria avanzada.</i>	<i>Debate de los futuros biotecnológicos antes de que sucedan. el resultado del diseño es, por lo tanto, una especulación, un escenario o un 'prototipo experiencial' diseñado para hacer que las personas interactúen con el futuro previsto.</i>

FIG.17 - AGRUPACIÓN "THE NEW AESTHETICS FOR DIY-MATERIALS"

## Ayala-Garcia & Rognoli, 2017

REINO VEGETABLE	REINO ANIMALE	REINO LAPIDEUM	REINO RECUPERAVIT	REINO MUTANTIS
<i>Todos aquellos materiales que tienen origen vegetal y/o fúngico, pueden crecer o ser cultivados.</i>	<i>Los de origen animal o bacteriano; se puede fabricar con estos organismos o con derivados de ellos.</i>	<i>Materiales de origen mineral como la arena, arcilla, cerámica y greda, este grupo está muy vinculado con la artesanía.</i>	<i>Son los materiales reciclados provenientes de desechos plásticos, metálicos u orgánicos.</i>	<i>Incluye aquellos híbridos cuya característica principal se potencia y transforma por el uso de tecnología industrial, interactiva o smart.</i>

*Esto significa que hay materiales que van a poder masificarse industrialmente (postulamos los que se producen partir de hongos) y otros que no; por otro lado significa que cada caso exige respuestas diferente, hay materiales que sirven para una cosa y otros materiales para otras. Entonces, requiere de un poco más de creatividad, pero es enriquecedor porque no solo se cumple una función, sino que además se crea una cultura de material. El material creado representa una revalorización tanto del territorio y como de toda la cadena que va desde la naturaleza, pasando por las comunidades y finalmente por el proceso de investigación y producción.*

ALEJANDRO WEISS, LABVA - ENDÉMICO 2019

FIG.18 - ESTUDIOS DE FÓRMULA  
EXPOSICIÓN EN SEMANA  
DE LA BIOFABRICACIÓN  
-  
VALDIVIA, 2018



BIOFAB UC

LABVA

MATERIOM

SEMANA DE LA BIOFABRICACIÓN

TALLER DE EXPERIMENTACIÓN



FIG.19 - EQUIPO BIOFAB  
SEBASTIÁN RODRIGUEZ, ANIBAL  
FUENTES, CATALINA DE PABLO

FUENTE: BIOFAB

## Biofab UC

### Laboratorio de Biofabricación FADEU

En paralelo a la investigación teórica y bibliográfica, el desarrollo del proyecto requirió involucrarme activamente en la red de personas e instituciones que están trabajando con esta temática en el país. En primera instancia me contacté con el Laboratorio de Biofabricación Fadeu (Biofab) de la Universidad Católica. Este es un laboratorio multidisciplinar, conformado en el 2018, que investiga las posibilidades de los organismos vivos para generar procesos de biofabricación y biomateriales (Biofab, 2019). El trabajo de investigación se ha centrado principalmente en el desarrollo de materiales a partir de micelio de hongo y celulosa bacteriana y la transferencia de protocolos de fabricación de estos organismos. De la misma forma, han desarrollado tecnologías y softwares de bajo costo y libre acceso como un microscopio, agitador orbital y próximamente, una incubadora.

El contacto con el Laboratorio permitió situar mi investigación en un contexto en donde pudiera contar con el apoyo y colaboración de una red de personas de distintas áreas y a la vez establecer un contexto y objetivos reales para el desarrollo del proyecto.

A lo largo del año, pude participar en diversas instancias como actividades, charlas, talleres y viajes de investigación, lo que me permitieron nutrir de mejor forma mi proyecto estableciendo guías y feedback constante por parte del equipo.

@biofab.uc  
info@biofab.cl  
El Comendador 1916,  
Providencia, Santiago, Chile



@somoslabva  
info@labva.org  
Arauco #128, 3er Piso  
Valdivia, Chile

# Labva

## Laboratorio de Biomateriales Valdivia

Por el otro lado, también pude establecer contacto y guía por parte del Laboratorio de Biomateriales de Valdivia. Este está compuesto por dos arquitectos y una diseñadora quienes se especializan en el desarrollo de biomateriales con esiduos y organismos locales. Ellos forman parte de la red de laboratorios, en desarrollo de biofabricación para las disciplinas creativas. Desde su laboratorio en Valdivia, buscan acercar a la comunidad temas científicos, enfocándose especialmente en re-establecer una conexión con el territorio y lo local. De esta forma, plantean la generación de nuevas economías distribuidas al hacerse cargo de materiales que se presentan de manera abundante como desechos, pero que por su naturaleza, pueden reincorporarse al sistema para cumplir una nueva función (Labva, 2019)

Si bien su sede es en Valdivia, establecí contacto con ellos a través del Biofab, y pude conocer su laboratorio cuando viajé a la ciudad durante la “Semana de la Biofabricación”, además de otras ocasiones en donde pudimos trabajar juntos y desarrollar investigaciones.

FIG.20 - EQUIPO LABVA  
VALENTINA ALIAGA  
ALEJANDRO WEISS  
MARÍA JOSÉ BESOAIN  
FUENTE: LABVA





FIG.21 - MATERIOM  
ALYSIA GARMULEWICZ  
-  
FUENTE: THINKDIF

# Materiom

## Charla: Alysia Garmulewicz

Durante el mes de septiembre, tuve la posibilidad de asistir a una presentación por una de las fundadoras de Materiom, Alysia Garmulewicz, en el Taller Mercado II de la escuela de Diseño UC. Materiom es una plataforma online para compartir recetas para la fabricación de biomateriales con ingredientes al alcance de cualquier persona. Esta propone el uso de recursos naturales locales provenientes de ciclos de desechos o de organismos vivos que sean biodegradables o compostables para así lograr un ciclo cerrado de producción de materiales para aplicaciones en diseño.

En la presentación a la que asistí, Alysia habla sobre la importancia de la economía local y circular y los desechos orgánicos como fuentes de materias primas para fabricar. Además hace énfasis en el análisis de la biomasa y la forma en la que la naturaleza produce sus materiales. Finalmente, propone la utilización de la fabricación digital y Fab Labs como punto de encuentro para que la comunidad pueda producir sus propios materiales locales. En esta instancia pude conversar con ella y plantearle mi interés en desarrollar mi título en esta área. Me comentó algunos proyectos en los que podía participar pero ninguno me llamó mucho la atención, por lo que seguí en mi búsqueda de un biomaterial interesante. Sin embargo, quedé contactada para una eventual colaboración.

[www.materiom.org](http://www.materiom.org)  
Biblioteca de biomateriales  
de código abierto con recetas de  
colaboradores al rededor del mundo.

FIG.22 - ESTUDIOS DE FÓRMULA  
SEMANA DE LA BIOFABRICACIÓN 2018  
-  
FUENTE: FERNÁN FEDERICI



## Semana de la Biofabricación

15 al 21 de nov. 2018  
Stgo, Valdivia y Ancud

Durante el mes de noviembre se organizó la Semana de la Biofabricación. El principal foco de este evento fue invitar a la comunidad a conocer y debatir los impactos de los biomateriales y la biofabricación en el futuro del medio ambiente y la sociedad. En esta semana pude formar parte del evento como voluntaria en el montaje de la exposición como también participar del resto de las actividades. De esta forma, mediante exhibiciones, conversatorios y talleres, el encuentro se invitó a abrir nuevas perspectivas en torno a la creación de nuevas materialidades, sus procesos de producción y su relación con el entorno. (Biofab,2019)

### Exposición "*Estudios de Fórmula*"

El primer evento fue la exposición en la Galería Barrios Bajos: Estudios de Fórmula. Esta muestra reunía trabajos de emprendimientos, experimentaciones académicas y obras de artistas nacionales con biomateriales. En ella, pude trabajar como voluntaria en cuanto al montaje de la exposición. Esta experiencia me permitió familiarizarme con el estado del arte de trabajos nacionales y además pude relacionarme con distintas personas que se veían interesadas en la exposición. Lo interesante, es que las personas que participaron del encuentro no eran solo

de disciplinas artísticas, si no que también se levantaron conversaciones con personas del mundo humanista (antropólogos) y científico (geólogos).

### Charla "*Desafíos de la Biofabricación*"

El viernes 16 hrs. se organizó un conversatorio llamado "Desafíos de la Biofabricación". Este encuentro contó con la conferencia de laboratorios y emprendedores internacionales como Edith Medina, del laboratorio de exploración mexicano, Biology Studio, Cristina Muñoz y José Alvarez, del laboratorio ecuatoriano. D.Lab y finalmente la arquitecta chilena radicada en boston Paloma Gonzalez miembro de la firma Universal Projects y el Massachusetts Institute of Technology.

Durante esta charla los expositores conversaron acerca de sus procesos de experimentación material y cuales creían ellos que eran los desafíos en cuanto al trabajo con biomateriales en las disciplinas creativas. Principalmente destacan la relevancia que tiene el reconocimiento de los materiales locales para uso experimental además de el valor de la transferencia de conocimiento en cuanto a los procesos de fabricación entre los biofabricadores.



FIG.23, 24 & 25  
MONTAJE DE EXPOSICIÓN EN  
GALERÍA BARRIOS BAJOS

FUENTE: JUAN FERRER &  
ELABORACIÓN PROPIA



FIG.26, 27 & 28  
AFICHES DE ACTIVIDADES  
"SEMANA DE LA BIOFABRI-  
CACIÓN"  
-  
DISEÑO: ANIBAL FUENTES

## Lanzamiento "BIEM"

El viernes 16 también se realizó el lanzamiento oficial del proyecto BIEM, que busca cambiar los elementos plásticos de la pesca como boyas y redes, por elementos biodegradables. Esta compañía, abierta y colaborativa, se enfoca en la transformación material de los elementos utilizados en la pesca y la mitilicultura, con el objetivo de reducir la degradación de los ecosistemas marinos y además para empoderar a las comunidades que viven de actividades ligadas al mar (Biem, 2018). Esta empresa marca un antecedente en donde se podría proponer una aplicación para un biomaterial desarrollado.

## Charla "Now we see now" - David Benjamin

Finalmente las actividades cerraron en Valdivia con la charla "Now we see now" del profesor David Benjamin de la Universidad de Columbia y arquitecto del estudio The Living en Nueva York. El encuentro se realizó en el Club de la Unión y era abierta a toda la comunidad. En ella el profesor expuso su trabajo en cuanto a la incorporación de organismos vivos en procesos de diseño y los distintos enfoques en los cuales se puede trabajar con ellos.

# Taller de introducción a la biofabricación y experimentación material

---

<b>PROFESORES:</b>	<i>ANIBAL FUENTES SEBASTIÁN RODRIGUEZ ALEJANDRO WEISS MARÍA JOSÉ BESOAIN</i>
<b>COORDINACIÓN:</b>	<i>CATALINA DE PABLO</i>
<b>REGISTRO:</b>	<i>MARÍA FERRER **CAROLINA PACHECO</i>
<b>Nº DE ALUMNOS:</b>	<i>12</i>

---

---

<b>DÍA:</b>	<i>JUEVES 27 DE DIC. 2018</i>
<b>DURACIÓN:</b>	<i>1 DÍA (18:30 - 21:30 HRS.)</i>
<b>LUGAR:</b>	<i>CAMPUS LO CONTADOR</i>

---

Durante el mes de diciembre se realizó un taller de exploración de biomateriales. Este workshop fue facilitado por el Laboratorio de Biofabricación FADEU (@biofab) y el Laboratorio de Biomateriales de Valdivia (@somoslabva) En este taller pude participar como asistente en cuanto al registro audiovisual y en la organización durante el taller. Participar en este workshop me hizo ver el interés por parte de varias disciplinas de involucrarse en el proceso de crear materiales de origen biológico. A la vez me permitió adentrarme más en el conocimiento en cuanto a biocompuestos y su experimentación formal.



FIG.29, AFICHE PROMOCIONAL DEL TALLER, FUENTE: @BIOFAB.UC

FIG. 30, 31, 32, 33 REGISTRO DEL TALLER ELABORACIÓN PROPIA

*“If you look nature for inspiration, of how materials are composed, what ingredients are used, what methods of chemistry are employed, is that you see a very clear set of templates, for the way in which you can build materials for our economy. The key thing with open source is that the secret’s already out. Organisms have been composing materials with a set of ingredients for billions of years, and in ways that we are only beginning to be able to truly understand and replicate and be inspired by. And so, when you start from that place, the materials that you’re then working with are open source by definition, because organisms have open sourced them billion of years ago. And so, all we need to do is pay attention and learn from them”*

ALYSIA GARMULEWICZ - SYSTEM RESET 2018

FIG.34  
MOVIMIENTO DE CARBONATO  
DE CALCIO EN UN ISÓPODO  
INTERMAREAL VIVO LIGIA  
-  
SUMMERS 2018





MATERIALES BIOLÓGICOS

APROXIMACIÓN A LA MATERIA EMERGENTE

RECONOCIMIENTO DE ESPECIES

CONCHAS

ALGAS

# Materiales Biológicos

## Biomímesis como aproximación proyectual

La aproximación a la creación de un material bajo principios de la biofabricación debe ser abordada desde un enfoque fundamentado en la naturaleza. Esto quiere decir que, para llevar a cabo una experimentación formal, primero debe haber un entendimiento de la materia biológica propiamente tal. Al estar diseñando un material a partir de la colaboración con un organismo vivo o con algún derivado de este, es relevante hacer un análisis en cuanto a su composición química como su arquitectura estructural.

Históricamente, se han desarrollado una serie de tecnologías y diseños inspirados en los comportamientos y estrategias que utiliza la naturaleza. Este método de aprendizaje, a partir de sistemas biológicos, ha sido empleado por más de 3000 años por los humanos y ha permitido el desarrollo de estructuras arquitectónicas, tecnologías de información, herramientas mecánicas, comportamiento material, algoritmos computacionales y sistemas robóticos (Vincent, Bogatyreva, Bogatyrev, Bowyer, & Pahl, 2006). La terminología asociada a este proceso de “aprender” de la naturaleza ha sido adaptada a una serie de términos como biomímesis, biomimetismo, bioinspiración o biónica. Esta práctica consiste en analizar un fenómeno biológico para luego abstraer sus funciones y aplicarlo como modelo en diseño



FIG. 35  
 PRINCIPIOS DE LA ERA  
 PALEZOICA  
 -  
 MARGULIS & SAGAN 1995

*Hace 500 millones de años  
 los animales desarrollan  
 partes duras a partir de  
 depósitos de desechos celulares*

de métodos y procesos (Fayemi, Wanieck, Zollfrank, Maranzana, & Aoussat, 2017). Esto se ha empleado generalmente con la imitación de formas, geometrías o métodos productivos que proponen una manera más sustentable y eficiente.

Si bien, los científicos, siempre se han sorprendido por el alto grado de sofisticación de los materiales en la naturaleza, el estudio y la ciencia de estos en los sistemas biológicos es muy reciente (1990) y se ha especializado principalmente en proveer las herramientas para el desarrollo de materiales inspirados en la naturaleza (biomimética) y/o entender la interacción entre materiales sintéticos y estructuras biológicas con el fin de introducir sistemas nuevos y complejos (Meyers, Chen, Lin, & Seki, 2008).

En todos los organismos vivos, ya sean de una baja o alta complejidad, la naturaleza provee una multiplicidad de materiales, estructuras, sistemas y funciones dignas de imitar (Arenas, Aliaga, Marchant, & Sanchez, 2005). Aquí es donde los organismos naturales proporcionan una rica fuente de inspiración para nuevas ideas bioinspiradas. Además nos brindan la oportunidad de beneficiarnos de la gran cantidad y considerable diversidad de soluciones materiales perfeccionadas a lo largo de, por lo menos, 500 millones de años de evolución” (Wegst, Bai, Saiz, Tomsia, & Ritchie, 2014; Margulis & Sagan, 1999)

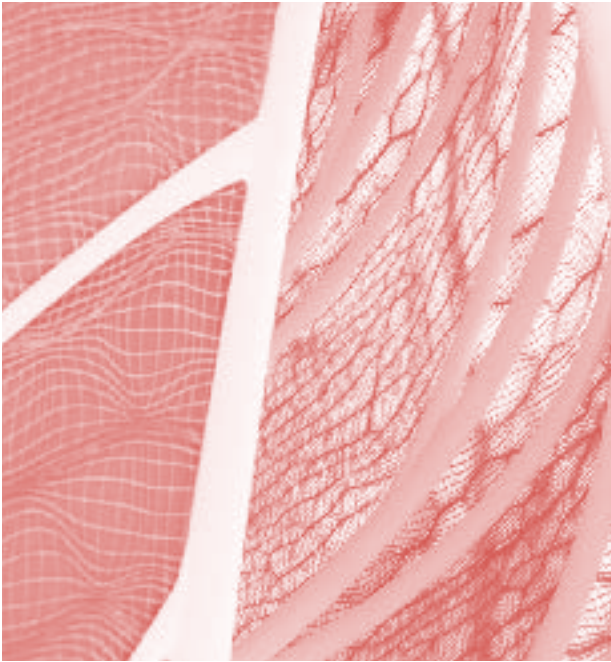


FIG.36 AGUA HOJA  
-  
MIT MEDIATED MATTER, 2018

*Diseño a partir de extrusión 3D con un brazo robótico y material biobasado de quitina. La forma de la estructura es el resultado de un estudio de composición y distribución de materiales en la naturaleza*

## Principales Características

Muchos de los materiales que existen en la naturaleza tienen propiedades mecánicas que superan a aquellos de origen sintético (Vincent, 1982). Esto es sorprendente si consideramos su formación estructural bajo condiciones de poco uso energético y que no son agresivas para el medio ambiente, como su fabricación en medios y soluciones acuosas, condiciones de temperatura ambiente, presión atmosférica y el uso de limitados elementos (Calafat, 1999; Meyers et al., 2008; Wegst et al., 2014). Por el otro lado los materiales hechos por el hombre son producidos típicamente bajo condiciones extremas resultando en una serie de obstáculos de ingeniería que muchas veces generan altos costos de producción y estructuras poco degradables (Meyers, 2008). En los materiales biológicos el diseño de la estructura y la distribución de sus componentes constitutivos están intrínsecamente conectados. La organización jerárquica en su conformación le otorga diferentes propiedades mecánicas a la materialidad mediante el manejo de las variables de escala vs estructura (Garmulewicz, comunicación personal, 2018). Esto ocurre principalmente desde un nivel microscópico donde la auto-organización sucede desde un nivel molecular y químico hasta ensamblar y formar la estructura básica de cada material a una escala macroscópica.

#### 1. AUTO-ORGANIZACIÓN:

Son ensamblados en una primera instancia a nivel molecular y luego se va estructurando desde una micro-escala a la macro.

#### 2- MULTIFUNCIONALIDAD:

Mucho de los materiales en los sistemas biológicos deben tener más de una función a diferencia de los sistemas sintéticos que usualmente separan el componente estructural del funcional.

#### 3. FORMACIÓN AMBIENTAL:

Los materiales biológicos son producidos en soluciones acuosas y a temperatura ambiente

#### 4. AUTO-REPARACIÓN

La mayoría de estos compuestos tienen la capacidad de auto-curarse. Esto parece estar directamente relacionado con el auto-ensamblaje ya que ocurre un crecimiento jerárquico de abajo hacia arriba y cada molécula está relacionada con su ambiente específico. “

#### 5. ESTRUCTURA JERÁRQUICA:

Son ensamblados en una primera instancia a nivel molecular y luego se va estructurando desde una micro-escala a la macro.

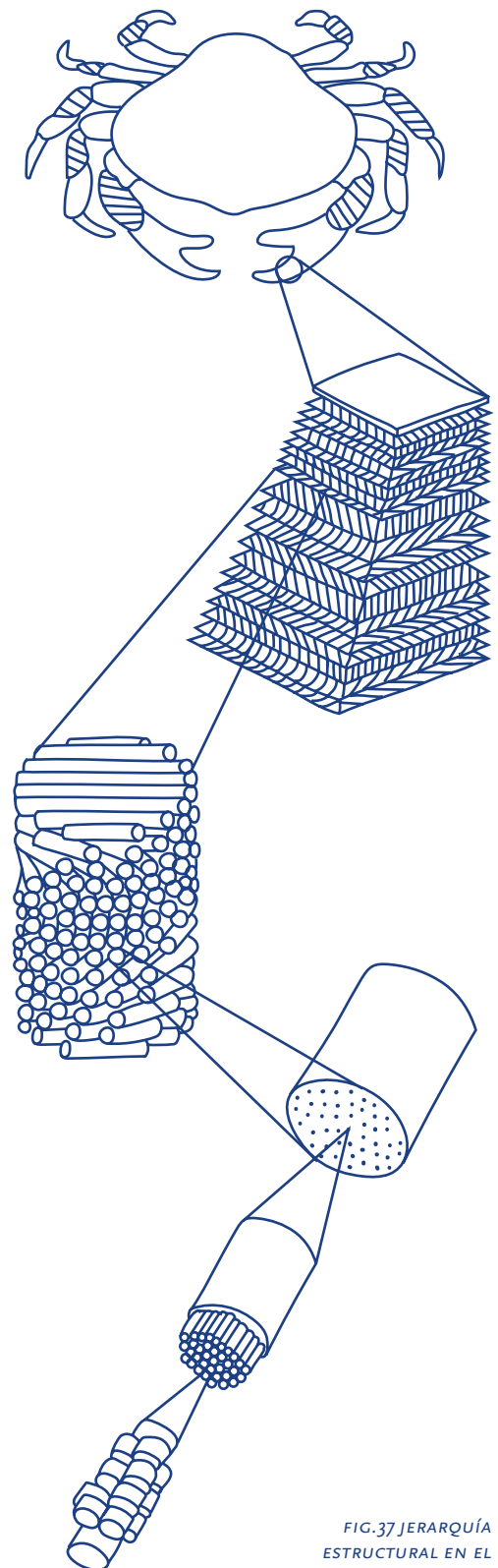


FIG.37 JERARQUÍA ESTRUCTURAL EN EL EXOSQUELETO DE UN CRUSTÁCEO  
FUENTE: MYERS, 2008  
-  
ELABORACIÓN PROPIA

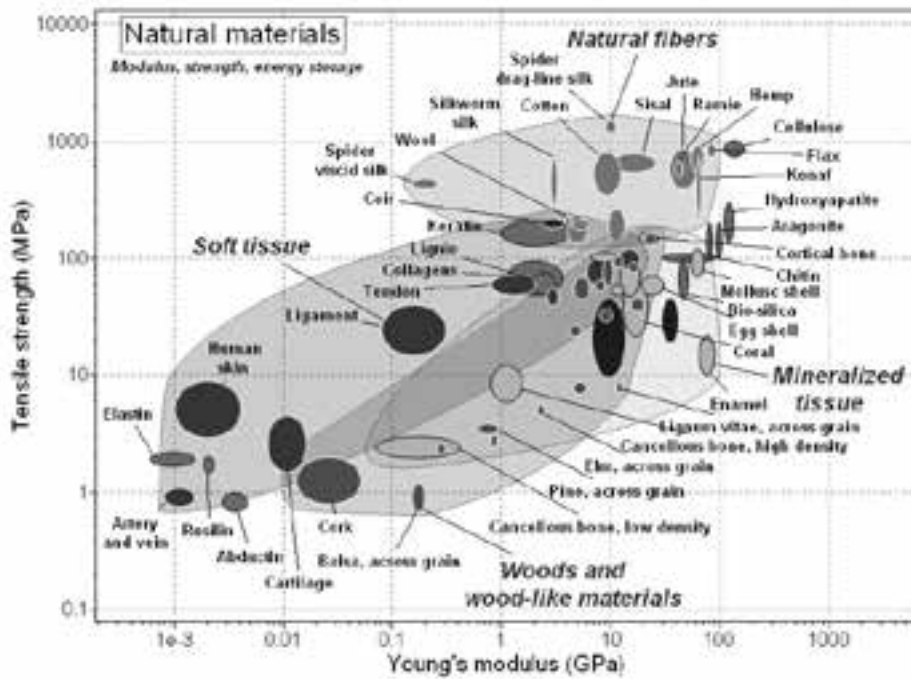


FIG.38  
 TABLA DE PROPIEDADES DEL  
 MATERIAL PARA MATERIALES  
 NATURALES.  
 WEGST & ASHBY, 2014

## Clasificación de los materiales en la naturaleza

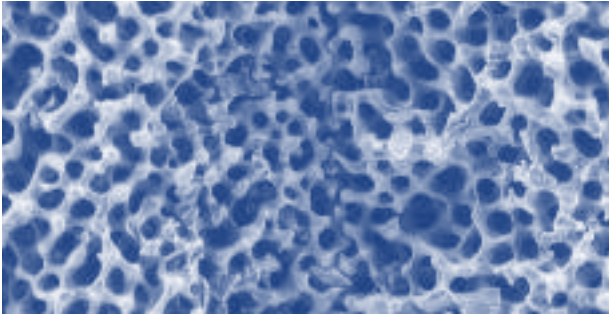
SEGÚN WEGST Y ASHBY - 2004

FIG.39  
 SECCIÓN TRANSVERSAL DE  
 MÚSCULO ESQUELÉTICO  
 FUENTE: SHUTERSTOCK

FIG.40  
 MACROFOTOGRAFÍA  
 DE UNA PULGA  
 FUENTE: REISCHIG, 2014

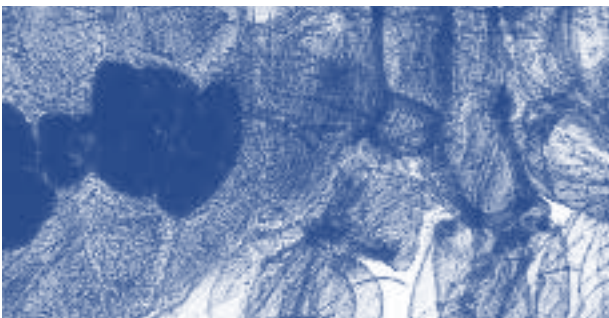
FIG.41  
 MORFOLOGÍA DEL ESQUELETO  
 DE UN EQUINODERMO  
 FUENTE: HYMAN, 1955

FIG.42  
 MACROFOTOGRAFÍA DEL  
 GRANO DE ROBLE ESCARLATA  
 FUENTE: WOOD DATA BASE, 2019



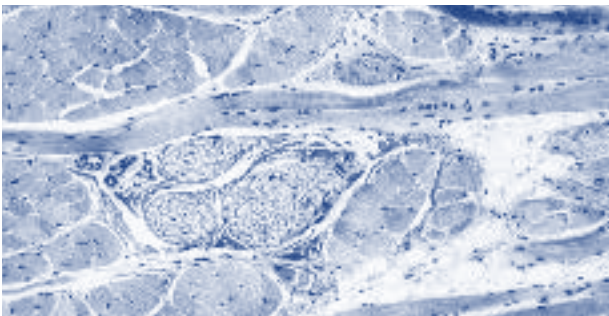
#### **CERÁMICOS Y COMPOSITOS CERÁMICOS:**

Son materiales biológicos donde el componente mineral es predominante como la hidroxiapatita, la calcita o aragonita y están envueltos en una matriz de colágeno. Estos se pueden encontrar en las conchas, huesos, diatomeas y espículas de esponjas marinas. Sus densidades son entre 1.8 y 3.0 Mg m<sup>3</sup>.



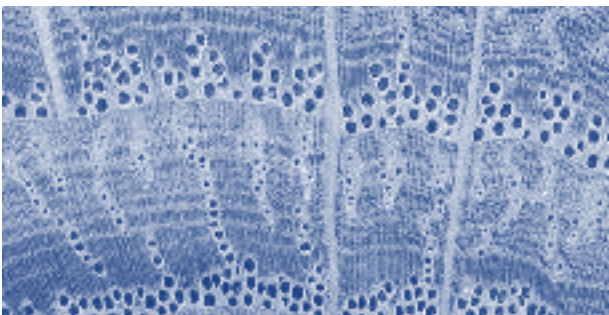
#### **POLÍMEROS Y COMPOSITOS POLIMÉRICOS**

Estos incluyen la celulosa, quitina (polisacáridos) o el colágeno, seda y queratina (proteínas). Todos tienen una densidad de alrededor de 1.2 Mg m<sup>3</sup>, módulo de elasticidad entre 50–130 (GPa) y resistencia a la tracción de (1GPa). Ejemplos de estos son los cáscos de los mamíferos, los ligamentos, tendones, la seda y los exoesqueletos de artrópodos.



#### **ELÁSTOMEROS NATURALES:**

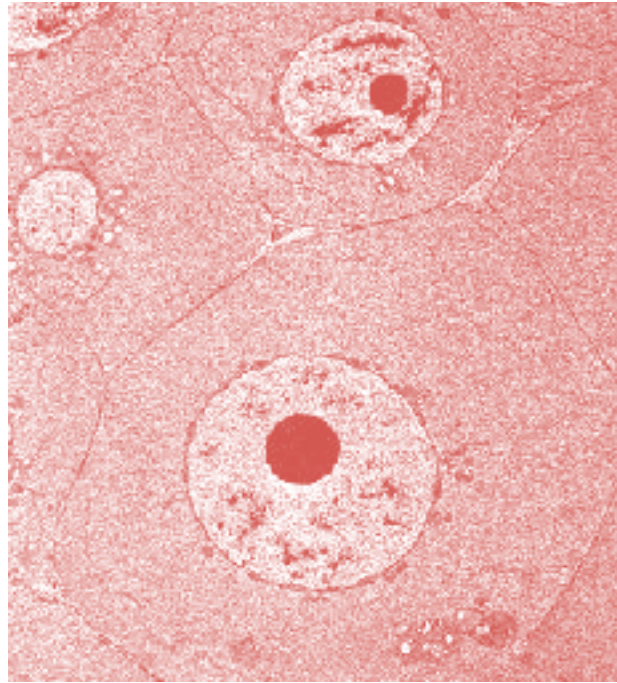
Estos son materiales biológicos con alta resistencia a la tracción como la piel, músculos, venas, tejidos blandos en el cuerpo, entre otros. Sus módulos y propiedades son similares a los elastómeros sintéticos de ingeniería con densidades de alrededor de 1.15 Mg m<sup>3</sup>.



#### **MATERIALES CELULARES**

Son típicamente aquellos de poco peso como las plumas, huesos porosos y la madera. Por ende estos tienen mucho menor densidad 0.1–1.2Mgm<sup>3</sup>. Casi siempre son anisotrópicas porque la forma y orientación de las fibras que contienen debido a la forma de las propias células.

FIG.40LA EVOLUCIÓN DE  
LA CÉLULA,  
LYNN MARGULIS.



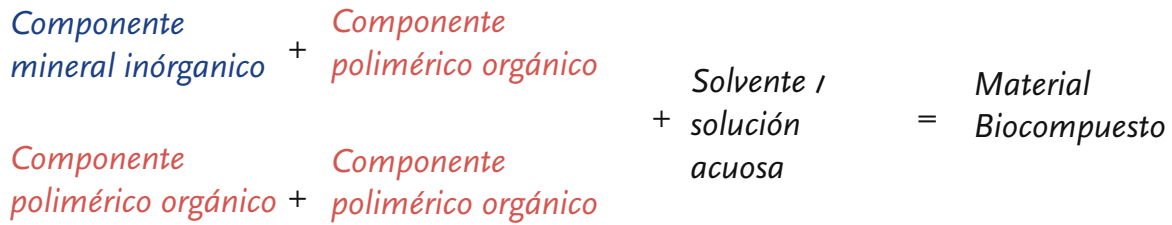
## Simbiosis entre sustancias materiales

Mediante el concepto de “simbiogénesis” Margulis propone una teoría para explicar la evolución de las distintas especies en la tierra. La idea central es que seres simples, especializados en diferentes funciones, establecen sucesivas alianzas y pactos para crear superestructuras cada vez más generales y complejas a través de una interacción continua y de mutua dependencia entre distintas especies (Margulis & Sagan, 2002). De esto se pueden encontrar varios ejemplos en la naturaleza, como la dependencia mutualista entre el pez payaso y las anémonas o las flores y las abejas. Como también existen asociaciones de especies que a través de la evolución lograron integrarse en una sola.

De la misma forma, en la composición química de los materiales en la naturaleza también existe una dependencia estructural para la formación de las sustancias materiales. Por ejemplo la madera, de el bambú o las palmeras, está estructurada por la celulosa inserta en una matriz de lignina o hemicelulosa. A su vez, en los tejidos óseos, la combinación del colágeno con cristales de calcio permite la formación de una estructura dura y rígida. Así, con una variedad de sustancias en donde se genera una simbiosis estructural, donde el componente mineral provee la rigidez, mientras que el componente orgánico contribuye a la ductilidad (Meyer

et al., 2008). Esta relación simbiótica, en donde uno sirve como medio para que el otro material aporte estructuralmente, es interesante como analogía a la hora de experimentar con un biocompuesto. Como aproximación al diseño de un material experimental en base a recursos naturales, es necesario considerar esta dependencia material. Las sustancias que los componen deben ser complementarias o combinarse mediante una reacción química para así crear un material con buenas propiedades. De esta manera, las especies de los materiales que se trabajen, deben aportar en la estructura, como en la mecánica del biomaterial resultante.





## Composición Estructural

Las membranas de los organismos actuales se componen de varios tipos de lípidos, proteínas e hidratos de carbono, con funciones tan complejas y calibradas con una precisión que todavía estamos lejos de comprender (Margulis & Sagan, 1999). Varios autores han clasificado la mayoría de los materiales biológicos como *composites*, esto quiere decir que en su estructura hay dos componentes principales: una parte orgánica (polímeros proteínas, polisacáridos y polipéptidos) y otra inorgánica (mineral cerámica como sales de calcio o sílice (U. G K Wegst & Ashby, 2004; Sanchez, Arribart, & Guille, 2005; Meyers et al., 2006; Meyers et al., 2008; Wegst et al., 2014). Sin embargo estos *composites* también pueden componerse de dos partes orgánicas poliméricas. La proporción adecuada entre estos componentes es lo que provee el balance entre los tejidos blandos (proteínas) y los de mayor rigidez (minerales). Es así como el medio biológico es capaz de determinar la forma y distribución de los cristales individuales en la matriz polimérica. Desde el punto de vista de las propiedades mecánicas, clasifican los materiales biológicos entre “duros”: óxido de hierro, carbonato de calcio, fosfato de calcio (minerales), celulosa y quitina (polisacáridos), colágeno, keratina y elastina (proteínas - polipeptidos) (Meyers et al., 2008)

Este entendimiento estructural nos permite extrapolar las lógicas constructivas de la naturaleza a nuevas propuestas de materiales para aplicaciones en el diseño o construcción. Para ello, siempre es importante considerar tres factores críticos como: la composición química, la microestructura y la arquitectura del material (Wegst, Bai, Saiz, Tomsia, & Ritchie, 2014)

*“La simbiosis, la unión de distintos organismos para formar nuevos colectivos, ha resultado ser la más importante fuerza de cambio sobre la Tierra”*

*Margulis & Sagan, 1999*

# Aproximación a la biomateria emergente

## Clasificación de los ecosistemas

A la hora de decidir el tipo de biocompuesto, y sus componentes materiales, es necesario situar el estudio en un contexto. Esto puede comenzar por definir el ecosistema del cual el biomaterial proviene. La elección del entorno permite situar el contexto de estudio, para poder analizar ciertos fenómenos que ocurren dentro del ecosistema. De esta forma se puede llegar a un entendimiento de los organismos biológicos involucrados e interacciones de estos con su entorno. Sin embargo, esto no excluye la colaboración de especies de distintos ecosistemas. Lo importante es considerar recursos materiales que se puedan utilizar como un biomaterial en aplicaciones de diseño. Es por esto que el enfoque siempre debe ir orientado hacia los materiales biológicos dentro del ecosistema para entender su composición química (componentes poliméricos/orgánicos y componentes minerales/inorgánicos) y como estos se relacionan con el entorno.

## Niveles de organización

Una vez elegido el ecosistema, se pueden analizar los componentes de este para así llegar a una materia emergente. En la figura 42 se muestran los distintos niveles de organización de los sistemas biológicos que son útiles para investigar. Lo ideal es poder situarse en un nivel para así establecer un análisis en profundidad de este y establecer los criterios a investigar como aproximación biomimética. Sin embargo, realizar una ficha con los niveles del organismo a utilizar permite entender sus propiedades microscópicas como también el contexto en el cual se desenvuelve.

Finalmente, la especie o componente material debe ser elegido según: la accesibilidad a dicho biomaterial, la abundancia local, valorización económica y el impacto ecológico que genere su utilización. Por otro lado, como criterios de la biofabricación, se puede trabajar con un recurso que sea un activo desvalorizado como desecho y/o que sea capaz de reproducirse a sí mismo en un proceso biológico

## ECOSISTEMAS

SEGÚN EL MEDIO EN EL QUE SE DESARROLLAN LOS SERES VIVOS

### ACUÁTICOS

SEGÚN LA CONCENTRACIÓN DE SALES EN EL AGUA

MARINOS      AGUA DULCE

### TERRESTRES

SEGÚN LA ZONA CLIMÁTICA (BIOMAS)

TUNDRA   TAIGA   BOSQUE TEMPLADO   ESTEPA   SELVA   SABANA   DESIERTO

FIG.41  
CLASIFICACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS

FIG.42  
NIVELES DE ORGANIZACIÓN EN LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS

NIVEL	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
<b>ECOSISTEMA</b>	UNA COMUNIDAD O COMUNIDADES, TODAS CON SUS MEDIOS FÍSICOS	ECOSISTEMA COSTERO
<b>COMUNIDAD</b>	TODAS LAS POBLACIONES DE UN HABITAT PARTICULAR	COMUNIDAD COSTERA DE ROCAS
<b>POBLACIÓN</b>	GRUPO DE ORGANISMOS DE LA MISMA ESPECIE QUE ESTÁN JUNTOS	TODOS LOS MEJILLONES DE UNA ZONA DE LA COSTA ROCOSA
<b>INDIVIDUO</b>	UN ÚNICO ORGANISMO	UN MEJILLÓN UNO O MÁS ORGANISMOS
<b>ORGÁNOS</b>	UN GRUPO DE ÓRGANOS QUE TRABAJAN EN COOPERACIÓN	SISTEMA DIGESTIVO
<b>ÓRGANO</b>	TEJIDOS ORGANIZADOS EN ESTRUCTURAS	ESTÓMAGO
<b>TEJIDO</b>	GRUPO DE CÉLULAS QUE SE ENCUENTRAN JUNTAS Y ESPECIALIZADAS PARA LA MISMA FUNCIÓN	TEJIDO MUSCULAR
<b>CÉLULA</b>	LA UNIDAD FUNDAMENTAL DE LOS SERES VIVOS, INDEPENDIENTE	CÉLULA MUSCULAR, ORGANISMOS UNICELULARES EN UN ORGANISMO
<b>ORGÁNULO</b>	LA UNIDAD FUNDAMENTAL DE LOS SERES VIVOS, INDEPENDIENTE	NÚCLEO, MITOCONDRIA
<b>MOLÉCULA</b>	COMBINACIÓN DE ÁTOMOS QUE SE ENCUENTRAN UNIDOS	AGUA, PROTEÍNAS
<b>ÁTOMO</b>	LA UNIDAD FUNDAMENTAL DE LA MATERIA	CARBONO, FÓSFORO EN LA CÉLULA

# Profundización en el caso de estudio

## Ecosistema Marino

La presente investigación se enmarca en el ecosistema marino como ámbito de estudio. Su inmensa extensión y multitud de especies lo hacen un contexto interesante de análisis además de la soberanía de nuestro país sobre este ecosistema. Se cree que la vida en el planeta probablemente se originó en el mar, por lo que el estudio de los organismos marinos nos permite entender casi todo sobre la vida en la tierra (Wiggins, 1990). A un nivel más fundamental, la vida marina ayuda a determinar la verdadera naturaleza de nuestro planeta. Los organismos marinos producen una buena parte del oxígeno que respiramos y ayudan a regular el clima de la Tierra. Al menos en parte, nuestras costas son moldeadas y protegidas por los organismos marinos, incluso algunos de éstos crean nuevos espacios de tierra. Es por esto que se cree que en el mar están gran parte de los recursos de los que dependerá, en un futuro más o menos lejano, nuestra supervivencia como especie.” (Huber, 2007)

### El agua de mar

En la naturaleza, el origen de la vida implica una compleja serie de interacciones entre una enorme variedad de sustancias químicas; de éstas la más importante es también una de las más sencillas: el agua

*Así, en términos de superficie Chile es más mar que tierra. Chile es Mar. Nuestro territorio marítimo no sólo es extenso, sino que único, riquísimo y desconocido en su gran mayoría... ....Es frente a su inmensidad que somos ciegos, ya que sólo vemos su superficie. Es su belleza besando el desierto en el norte y acariciando los hielos milenarios del sur; es su riqueza, biodiversidad y variedad pesquera, única en el mundo; es su compleja red de interacciones que nos plantea desafíos de manejo, sustentabilidad y conservación, y es todo aquello que nos queda por descubrir...*

*Juan Carlos Castilla, "Chile es Mar"*



FIG.43  
ELABORACIÓN PROPIA

(Huber, 2007). El agua es conocida como el disolvente universal ya que proporciona el medio en donde se disuelven e interactúan varias moléculas para conformar estructuras multifuncionales desde variaciones micro a macroscópicas (Soldevila & Oxman, 2015). Esta se encuentra en el interior de todos los organismos biológicos y provee la condiciones para que ocurran estos procesos con poco consumo energético y en condiciones ambientales (Wiggins, 1990). Es importante reconocer este agente ya que es el medio en donde se desarrollan las distintas especies marinas. Además, el agua de mar cuenta con una variedad de materiales disueltos en ella, algunos de ellos llegan ahí por el desgaste y/o erosión química de las rocas terrestres (Huber, 2007). Por el otro lado esta proporciona el medio en el cual se disuelven e interactúan una enorme una variedad de sustancias químicas que hacen posible la vida (Munn, 2011). Esto es factible ya que reacciona con compuestos orgánicos, como moléculas, que contienen átomos de carbono, hidrógenos y oxígeno (Kirchman, 2001).

En el contexto marino, el carbono tiene un rol muy importante ya que es un componente necesario de la vida, el flujo de energía y la regulación del clima (Bates, 2018). Este es el principal componente químico en la materia orgánica, desde los combustibles fósiles hasta

las moléculas complejas (ADN y ARN) que controlan la reproducción genética en los organismos (Pidwirny, 2012). Su rol medioambiental es muy importante, además este se puede encontrar en los distintos ecosistemas en distintos compuesto químicos. El carbono es constantemente reciclado entre las distintas capas de la tierra para mantener el equilibrio y no crear una saturación en alguna mediante lo que se conoce como “Ciclo del Carbono”.

Este se almacena entre: (1) la biósfera, como moléculas orgánicas en organismos vivos y muertos; (2) como dióxido de carbono [CO<sub>2</sub>] en la atmósfera, (2) en la rizósfera como materia orgánica en suelos, (4) en la litósfera como combustible fósil, en piedras sedimentarias o en cuevas y finalmente, en el (5) mar disuelto como dióxido de carbono o como carbonato de calcio (Pidwirny, 2012) (Fig 45).

## Carbono Cíclico

El rol del océano en el ciclo del carbono es de crucial importancia para el equilibrio climático de la Tierra. Esto es principalmente por su nivel de interacción con el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se encuentra en la atmósfera (Bates, 2018). Este logra entrar al mar por



FIG.44  
WHITE CLIFFS DE DOVER,  
INGLATERRA

difusión y se encuentra disuelto como  $\text{CO}_2$ , como carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) o en compuestos orgánicos (Pidwirny, 2012). La saturación de  $\text{CO}_2$  en el océano provoca un cambio en su química en lo que se conoce como acidificación del mar. Para controlar este exceso ocurren distintas reacciones químicas que permiten controlar la acidez (niveles de pH) en los océanos. Una de ellas, es la biomineralización que realizan algunos organismos marinos para convertir el dióxido de carbono en carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Esta sustancia es el principal componente estructural en el exoesqueleto de moluscos, corales, diatomeas, radiolarios, foraminíferos y cocolitofóridos (Pidwirny, 2012).

Químicamente estos organismos, fijan el carbonato disponible en el mar con el exceso de calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) que almacenan para formar este mineral. Si no está siendo ocupado por los organismos marinos, el carbonato de calcio es acumulado en las profundidades del mar en lo que se conoce como cienos calcáreos. Naturalmente, con la evolución de las especies y el paso de millones de años, muchos de los animales acuáticos fueron abriendo camino hacia la tierra. Este asentamiento provocó a su vez el traslado de calcio a la superficie en el cráneo

de muchos animales como en sedimentos de calizas (Margulis & Sagan, 1986). Estos sedimentos biogénicos han sido depositados por millones de años e incluso son los responsables de la famosa pieza del patrimonio inglés que se conoce como White Cliffs de Dover, un depósito en forma de torre de caliza y yeso. (Como el carbón o el petróleo, tales reservas de carbono orgánico no se desperdician, sino que se tienen almacenadas en la biosfera hasta que la vida descubre nuevos caminos para reciclarlas)." (pag. 274) (Margulis & Sagan, 1986).

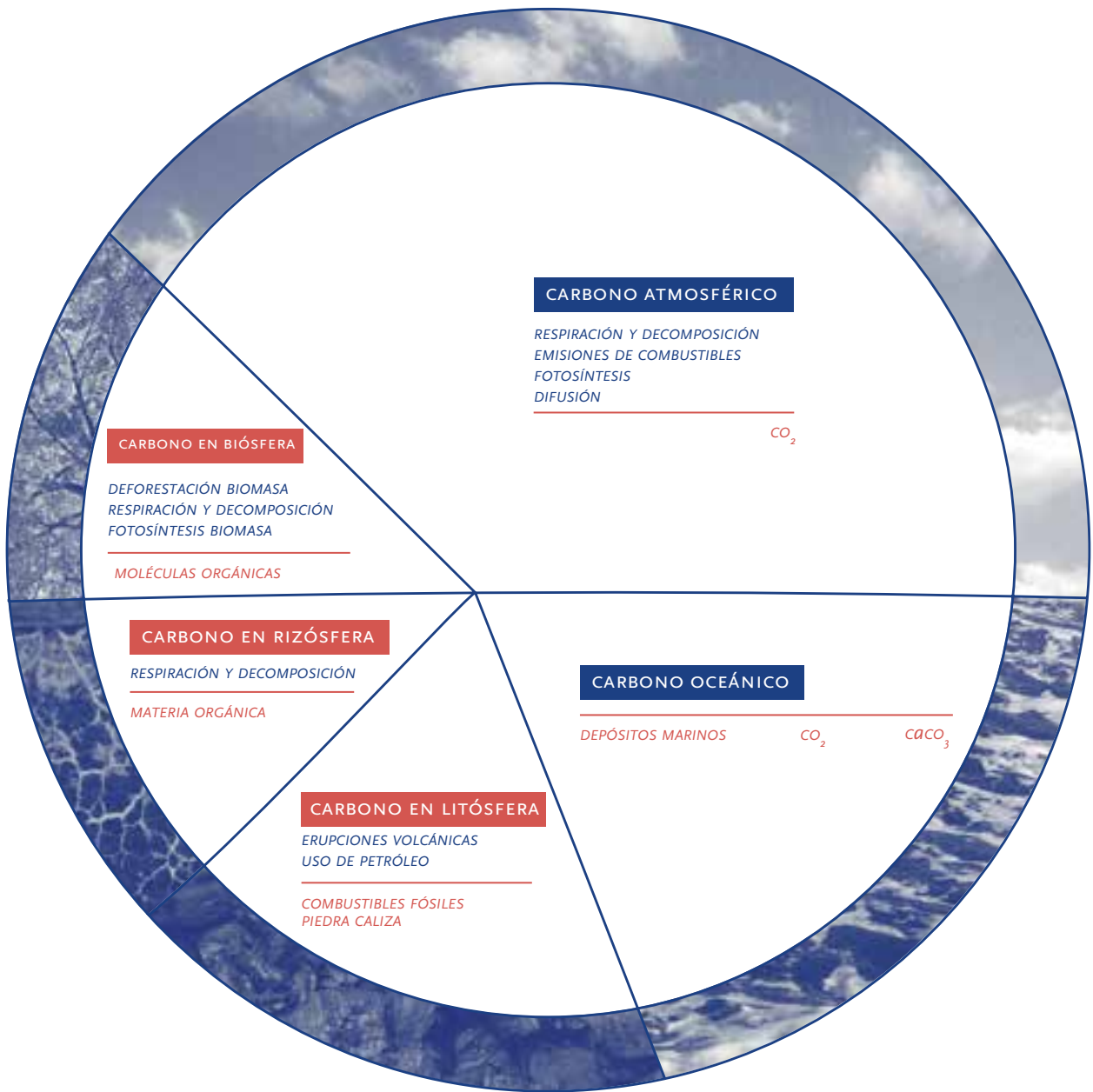


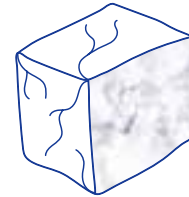
FIG.45 CICLO DEL CARBONO  
ELABORACIÓN PROPIA

Componente  
mineral inorgánico

## Reconocimiento de especies materiales



CALIZA



MÁRMOL

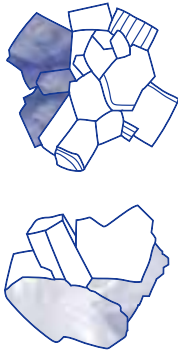
ROCAS

### Carbonato de calcio en conchas de moluscos

El Carbonato de Calcio [ $\text{CaCO}_3$ ] es uno de los materiales más abundantes en la corteza terrestre, este se encuentra cristalizado por procesos naturales de sedimentación y/o petrificación en rocas o minerales como la caliza (Al Omari, Rashid, Qinna, Jaber, & Badwan, 2016). Por el otro lado, es el sedimento mineral más abundante en los océanos conformando casi un 10% del total de estos (Rao, Kumar, & Reddy, 2017). Casi todo el  $\text{CaCO}_3$  que forma las plataformas de carbonato es derivado de organismos marinos. En la naturaleza puede variar su estructura cristalina en tres polimorfismos, los cuales, ordenados por su estabilidad térmica y poca solubilidad, son la calcita, aragonita y vaterita (Rojas Cáceres, 2008). En base a lo mencionado anteriormente, la gran disponibilidad del mineral, su rol como remediador climático y su capacidad de ser reproducido por organismos biológicos, lo hacen una materialidad interesante en el ámbito de la biofabricación para el diseño. Si bien este se encuentra dispuesto entre los distintos ecosistemas, el alcance de la investigación reconoce la abundancia y el fácil acceso a las conchas de moluscos. Estas se encuentran disponibles en las costas marinas o como residuos de las industrias productoras de moluscos para consumo alimenticio.



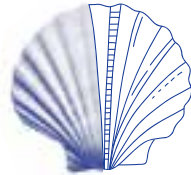
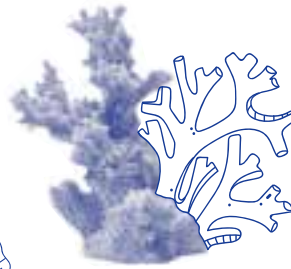
ARAGONITA



CALCITA

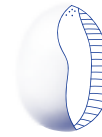
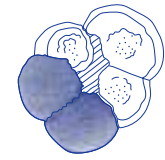


CORALES



CONCHAS

FORAMINÍFEROS



HUEVOS



COCOLITOFÓRIDOS

MINERALES

BIOMINERALES

EUCARIONTES

## Biom mineralización

FIG.46 ORGANISMOS CALCÁREOS  
ELABORACIÓN PROPIA

Debido a que los moluscos son animales de cuerpo blando, muchos de ellos han inventado una estrategia compleja para protegerse en contra de la depredación para impedir el deterioro y penetración en su interior (Marin, Le Roy, & Marie, 2012). La técnica en la cual secretan químicos para formar su caparazón exterior es conocido como biomineralización. Este se refiere tanto al proceso dinámico y fisiológico por el cual los seres vivos son capaces de formar estructuras minerales, como al producto final de estos procesos, y al estudio de dichos sólidos inorgánicos de procedencia orgánica (Osuna, 2015). Debido a la constante concentración de calcio en el océano, el proceso de calcificación en organismos marinos depende principalmente de la disponibilidad de carbonatos para formar carbonato de calcio (Rao, Kumar, & Reddy, 2017). Esta reacción es interesante ya que la solución sobresaturada de sales de calcio en el mar necesita de una sustancia que los active para generar cristales de este mineral en un proceso metabólico de bajo costo energético. A su vez, el molusco es capaz de manejar la forma y tamaño de estos cristales para generar un efecto en las propiedades mecánicas del material (Vincent, 1982) La formación del carbonato de

calcio ocurre progresivamente con la fijación del material mediante la adición de capas. Las células depositan el mineral en una matriz polimérica (proteína) que permite endurecer y rigidizar el material (Meyers, 2008; Rao, Kumar, & Reddy, 2017; Wegst et al., 2014) La concha está constituida por dos capas, una no calcificada denominada periostraco, y otra calcificada constituida por el mesostraco e hipostraco, siendo su composición química de carbonato de calcio en forma estable de calcita y/o aragonita (Baqueiro & Aldana Aranda, 1995)

FIG.47 GRUPO DE HERRAMIENTAS FABRICADAS POR LOS INDIOS FUEGUINOS. ENTRE ELLAS SE APRECIAN ARMAS HECHAS A PARTIR DE CONCHAS.

FUENTE: MUSEO DE HISTORIA NACIONAL



## Valor antrópico

### Usos históricos

Históricamente, la interacción humana con el entorno marino ha generado un vínculo cultural y ancestral en cuanto a la alimentación como para los puntos estratégicos de asentamiento (Ojeda et al., 2018). Las conchas han sido de gran atracción para los humanos desde la prehistoria. Aristóteles y Plinio fueron de los primeros en escribir sobre ellas, y se cree que fue el mismo Aristóteles quien acuñó el nombre de “Mollusca” que significa cuerpo-blando (Meyers et al., 2008). En los pueblos originarios la concha de los moluscos también adquirió un rol fundamental para el desarrollo social. Por un lado eran valoradas estéticamente por su gama de colores y formas ya que fueron utilizadas como brazaletes o collares en mujeres y hombres (Empeaire, 1958). Por el otro lado, las conchas eran afiladas para ser usadas como herramientas para cortar carne de animales, huesos, leña dura e incluso para rasurarse distintas partes del cuerpo (Empeaire, 1958). Además las conchas de los moluscos también fueron el componente central para la construcción de lo que hoy conocemos como “conchales”. Las conchas se acumulaban formando montículos o “paredes” circulares alrededor de la choza (Ojeda et al., 2018).

*Entender la relación de nuestros antepasados con el material de estudio permite descifrar esta interacción a una escala mayor. Identificar sus usos logra evidenciar el valor emocional que se le ha atribuido al material a través del tiempo, como también sus capacidades y propiedades intrínsecas.*

PH NEUTRO 8-9    INHOLORO    NO CORROSIVO    INSOLUBLE  
AGUA / ALCOHOL



SALUD			INDUSTRIAS		
SUPLEMENTO ALIMENTICIO	ANTIÁCIDO	BALANCE PH	FILLER EN PAPEL Y PINTURA	VIDRIOS Y CEMENTOS	RELLENO EN JABONES Y DETERGENTES
AGRICULTURA			MEDIOAMBIENTE		
NEUTRALIZA SUELOS ÁCIDOS	DILUYENTE EN PESTICIDAS	NUTRICIÓN ANIMAL	COMPONE EL 4% DE LA CORTEZA	NEUTRALIZA EFECTOS LLUVIA ÁCIDA	MINERAL RENOVABLE

FIG. 48 USOS DEL  $\text{CaCO}_3$  EN LA INDUSTRIA MODERNA

## Usos en la Industria Moderna

Hoy en día el carbonato de calcio tiene un gran valor económico en distintos procesos productivos. Este es principalmente obtenido por la extracción en suelos o minas ricas en calcita como también a partir de los desechos de las industrias mitilicutoras (conchas). El carbonato de calcio es principalmente utilizado en la industria de los materiales como filler o aglomerante en papel, polímeros y pinturas (Fig. X) En la agricultura como neutralizador del pH, fertilizante en suelos y cultivos, y en la industria farmacéutica como suplemento alimenticio o para sobrellevar malestares estomacales (Al Omari et al., 2016).

Por el otro lado este también es utilizado en la industria del cemento para la obtención de cal viva o clinker. En el proceso de obtención, los carbonatos, principalmente de la piedra caliza, son calentados a altas temperaturas para obtener óxido de calcio  $[\text{CaO}]$ . Este es luego combinado con distintas materias primas para crear el cemento Portland. El problema con este método productivo es que interrumpe, lo que se mencionó anteriormente como, el ciclo del carbono, principalmente por dos razones: La primera es que esta industria se ha encargado de explotar

los depósitos calcáreos que han sido almacenados durante millones de años como la forma de solidificar las reservas de carbono y en segundo lugar, es que en el proceso de calcinación del  $\text{CaCO}_3$ , genera una reacción química que libera dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a la atmósfera. Junto a la oxidación de combustibles fósiles y la deforestación, la decomposición de carbonatos por la industria del cemento contribuye en gran parte a la emisión de carbono a la atmósfera (Xiang, Cao, Warner, & Watt, 2008). En consecuencia, la saturación de  $\text{CO}_2$  ha aumentado el flujo de carbono al océano, causando un aumento en la acidificación y temperatura de este, perjudicando a muchos organismos marinos como crustáceos y moluscos que necesitan calcificar sus exoesqueletos (Pidwirny, 2012).



FIG. 49 PESCADOR EN LINEA DE CULTIVO DE CHORITOS ELABORACIÓN PROPIA

## Industria Nacional

En el contexto nacional podemos encontrar grandes depósitos de este material a lo largo de todo el país en diferentes estructuras cristalinas. Por un lado existen recursos calcáreos ampliamente distribuidos en Chile encontrándose los más importantes en la precordillera y cordillera andina en III, IV y IX y en la cordillera de costa en la región metropolitana (Garcés, 2013). En nuestro país, la piedra caliza, compuesta de  $\text{CaCO}_3$ , es el recurso no metálico de mayor volumen de explotación, siendo utilizado principalmente para el mercado del cemento, la construcción y la minería. Esto se realiza por la extracción de capas superiores del suelo o por minería subterránea (Acevedo & Guerra, 2005). En la industria de cemento se calcina a altas temperaturas para obtener cal viva o óxido de calcio  $[\text{CaO}]$ . Por el otro lado en la Patagonia Chilena se puede encontrar la calcita constituida como estalagmitas y estalactitas en las superficie de cavernas. Estas se forman por un proceso de infiltración de agua mineralizada que al precipitar se desgasifica liberando dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y almacenando sedimento saturado de carbonato de calcio (Bernal, Fuentes Iza, & Rojo, 2015).

En Chile, el cultivo de moluscos bivalvos ha sido una de las actividades productivas que más se ha desarrollado en los últimos años. El sector acuícola presenta una tasa de incremento promedio anual en torno al 18,4% a partir del año 1990 (Uriarte, 2008). Este año, las cosechas de moluscos acumuladas hasta julio alcanzan los 307 mil toneladas, cifra 5,9% mayor respecto a igual fecha al año 2017 (Acuicultura, 2018)

El carbonato de calcio extraído de terrenos calcáreos tiene aplicaciones en el área de salud, la agricultura y la industria constructiva (Fig. 48), sin embargo, el excedente de este material inorgánico en los desechos de la Industria Acuícola no está siendo aprovechado generando toneladas de residuos. Los atributos mecánicos, como su resistencia a la compresión, su poca solubilidad y aislación eléctrica y térmica, lo hacen un potencial reemplazo de materiales con propiedades similares y cuya producción implica mayores costos ambientales (Aqua, 2018).

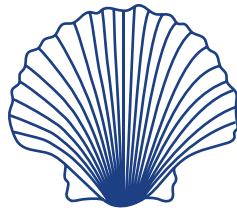
FIG. 50 MOLUSCOS EN CHILE



**CULEGE**

GARI  
SOLIDA

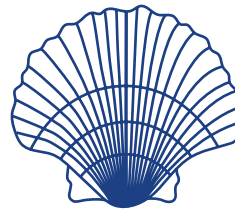
DESDE TALARA, PERÚ, HASTA  
EL ARCHIPÉLAGO DE LOS  
CHONOS, CHILE.



**OSTIÓN PATAGÓNICO**

CHLAMYS  
PATAGONICA

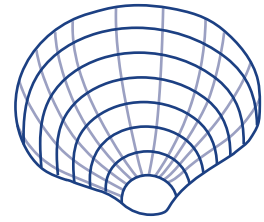
DESDE PUERTO MONTT A  
TIERRA DEL FUEGO, CHILE.



**OSTIÓN DEL NORTE**

ARGOPECTEN  
PURPURTUS

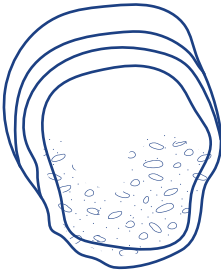
COSTA DEL PACÍFICO DESDE  
PANAMA HASTA CHILOÉ, CHILE.



**ALMEJA COMÚN**

VENUS  
ANTIQUA

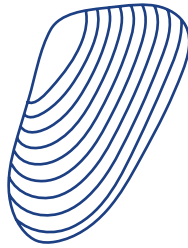
DESDE CALLAO EN PERÚ HASTA EL  
ESTRECHO DE MAGALLANES.



**OSTRA CHILENA**

OSTREA  
CHILENSIS

ENTRE IQUIQUE Y EL  
ESTRECHO DE MAGALLANES.



**MACHA**

MESODESMA  
DONACIUM

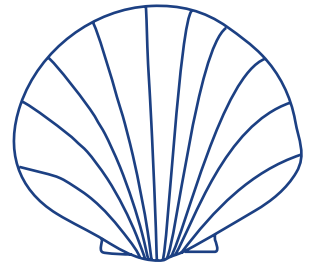
BAHÍA SEGURA, PERÚ, HASTA EL RÍO  
INIO EN EL EXTREMO SUR DE LA  
ISLA DE CHILOÉ, CHILE.



**CHORITO**

MYTILUS  
EDULIS CHILENSIS

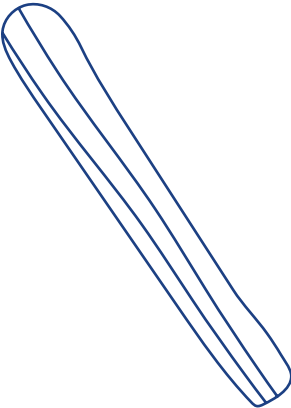
CALLAO, PERÚ, AL ESTRECHO  
DE MAGALLANES, Y CANAL  
BEAGLE, CHILE.



**ALMEJA COMÚN**

VENUS  
ANTIQUA

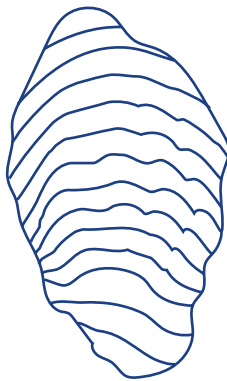
DESDE CALLAO EN PERÚ HASTA EL  
ESTRECHO DE MAGALLANES.



**NAVAJA**

ENSIS  
MACHA

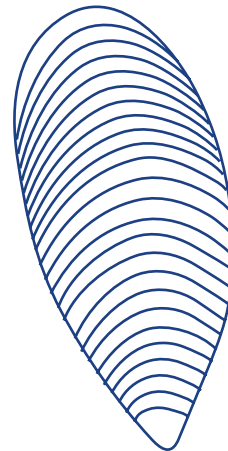
CALDERA HASTA MAGALLANES,  
ALCANZANDO POR LA COSTA  
ATLÁNTICA, EL GOLFO DE SAN  
MATÍAS, ARGENTINA.



**OSTRA DEL PACÍFICO**

CRASSOSTREA  
GIGAS

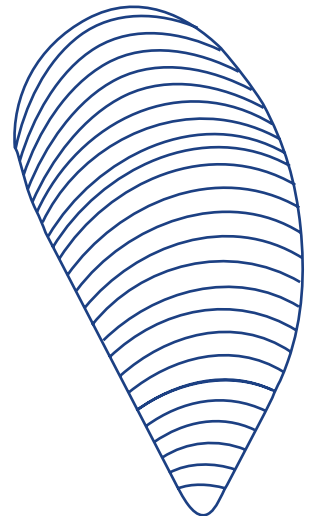
ORIGINARIA DE LAS COSTAS DE  
JAPÓN, INTRODUCIDA A CHILE



**CHOLGA**

AULACOMYA  
ATER

CALLAO, PERÚ, AL CANAL  
BEAGLE, ISLAS NAVARINO  
E ISTA PICTON, CHILE.



**CHORO**

CHOROMYTILUS  
CHORUS

ECUADOR AL ESTRECHO DE  
MAGALLANES, SIGUIENDO HACIA  
EL NORTE POR EL ATLÁNTICO  
HASTA SANTA CRUZ, ARGENTINA.

## Mineralizado

FIG. 51 CARBONATO DE CALCIO  
MINERALIZADO EN PROCESOS BIOLÓGICOS



CACO<sub>3</sub>

THOMAS VAILLY, 2014 HOLANDA



PORIFERA MOLLUSCA

TOM BADE, 2018 ALEMANIA



LIME MYCELIUM

RUBEN STRAHL, 2018 ALEMANIA

## Estado del Arte

Actualmente hay varios proyectos interdisciplinarios que buscan potenciar el uso de este recurso. En el contexto nacional, Investigadores del Centro de Investigación e Innovación para el Cambio Climático (CiiCC) de la Universidad de Santo Tomás, están estudiando las propiedades de este biomineral para poder aplicarlo en diferentes áreas de innovación tecnológica y así aportar a la economía circular de la Industria Acuícola Chilena. “El conocimiento científico que se espera generar es fundamental para comprender la evolución de los moluscos y para proyectar los desafíos que estos deberán enfrentar frente a la amenaza del cambio climático en el océano”, indicó el investigador Nelson Lagos, refiriéndose al proyecto CarbonatLab (Aqua, 2018).

Por el otro lado, el uso de carbonato de calcio también ha llamado la atención en el ámbito del diseño. Es más, en la Escuela de Diseño de la Pontificia Universidad Católica hay dos proyectos de alumnas que han trabajado con este compuesto. Por un lado está el proyecto Pilcán, Concreto Austral en base a mejillón, que reemplaza parcialmente el cemento en la mezcla para usos en la construcción. Como también está Calote, tejuelas chilotas fabricadas a partir de desechos de la industria mítica. Sin embargo ninguno de estos proyectos responde al uso de un material que sea reutilizable o beneficioso para

el medio ambiente, ya que en ambos se utiliza cemento y cal además de resina y poliestireno para lograr una materialidad acorde a la aplicación del proyecto.

Sin embargo, en el contexto mundial se han desarrollado proyectos en donde se utiliza un material compuesto a partir de carbonato de calcio con un aglutinante natural (Fig X: Pulverizados). Mientras que hay otros que replican el proceso de biomineralización con el carbonato de calcio, donde se genera el crecimiento controlado sobre una estructura determinada. Estos involucran el uso de bacterias o procesos naturales como la petrificación para la conformación del material (Fig. X: Biomineralizados). Cabe destacar que ninguno de estos antecedentes se refiere a un proceso de fabricación abierto para poder acceder a la tecnología y desarrollo de este material.

# Pulverizado

FIG. 52 CARBONATO DE CALCIO PULVERIZADO Y CON AGLOMERANTES VARIOS



AGAR PLASTICITY

AMAM COLLECTIVE, 2016 JAPÓN

*Biocompuestos de carbonato de calcio, de conchas molidas, aglomeradas con agar (polisacárido derivado de algas) y recubiertas en cera emulsionante.*



THAT'S IT

AUSTEJA PLATUKYTE, 2016 LITUANIA



PILCÁN

FRANCISCA FUENZALIDA, 2014 CHILE

*Cemento hecho a partir de cal con conchas molidas.*



CALOTE

IGNACIA WURH, 2018 CHILE



CORALISE

JESSICA GREGORY, 2017 ESCOCIA

*carbonato de calcio a partir de esqueletos de corales, aglomerados por binder jetting.*

*Conchas pulverizadas y calcinadas a altas temperaturas aglomeradas con un componente no declarado.*



BEYOND THE MAINLANDS

PHOEBE QUARE, 2016 IRLANDA

*Componente  
polimérico orgánico*

# Reconocimiento de especies materiales

## Derivados de Algas

Una vez identificado el primer componente material con el cuál trabajar como biocompuesto para una aplicación material en diseño, se debe continuar por seguir identificando especies, pero esta vez, centrado en la caracterización de componentes poliméricos que sirvan como medio aglomerante en materiales biológicos. En el caso de estudio, se reconocen proteínas, colágenos y polisacáridos en el contexto marino. Estos componentes se pueden encontrar como quitina en el exoesqueleto de algunos artrópodos como los camarones, en el tejido conectivo de los pescados como hidrocoloides y por último en la pared celular de las algas como polisacáridos.

A partir de un estudio comparativo, se decide el estudio de las algas como especie aglomerante. Principalmente por su variedad y abundancia en el ecosistema, como también la disponibilidad de sus polisacáridos como componente químico para diversos usos en la industria química-farmacéutica y gastronómica.

Las algas marinas son los productores primarios de las tramas tróficas de los ecosistemas que habitan. Esto significa que gracias a ellas millones de otras especies pueden existir. Las algas ofrecen un recurso prometedor e inagotable para sistemas de producción sustentables

por su gran diversidad (5000 especies identificadas) y su excepcional tasa de crecimiento (Jensen 1993). Además son organismos muy tolerantes ya que se adaptan a cualquier condición medioambiental, permitiendo su crecimiento casi en cualquier lugar.

Chile cuenta con más de 900 especies de algas marinas donde un 30% son endémicas (Ramirez, 1991). Estas se encuentran en toda la costa del Pacífico generando una gran biodiversidad a lo largo del país. Las algas marinas bentónicas son representadas en algas rojas, Rhodophyceae, algas verdes, Chlorophyceae y las algas pardas Phaeophyceae. Las algas pardas, de género Phaeophyceae, tienen un rol ecológico bastante importante al ser el hábitat de numerosos invertebrados y peces litorales. Se conoce como praderas de “huirales” aquellos conjuntos de algas pardas, en la zona intermareal baja y poco profunda de las costas de Chile, como los géneros *Lessonia*, *Macrocystis* y *Durvillaea* (Ramirez, 1991).



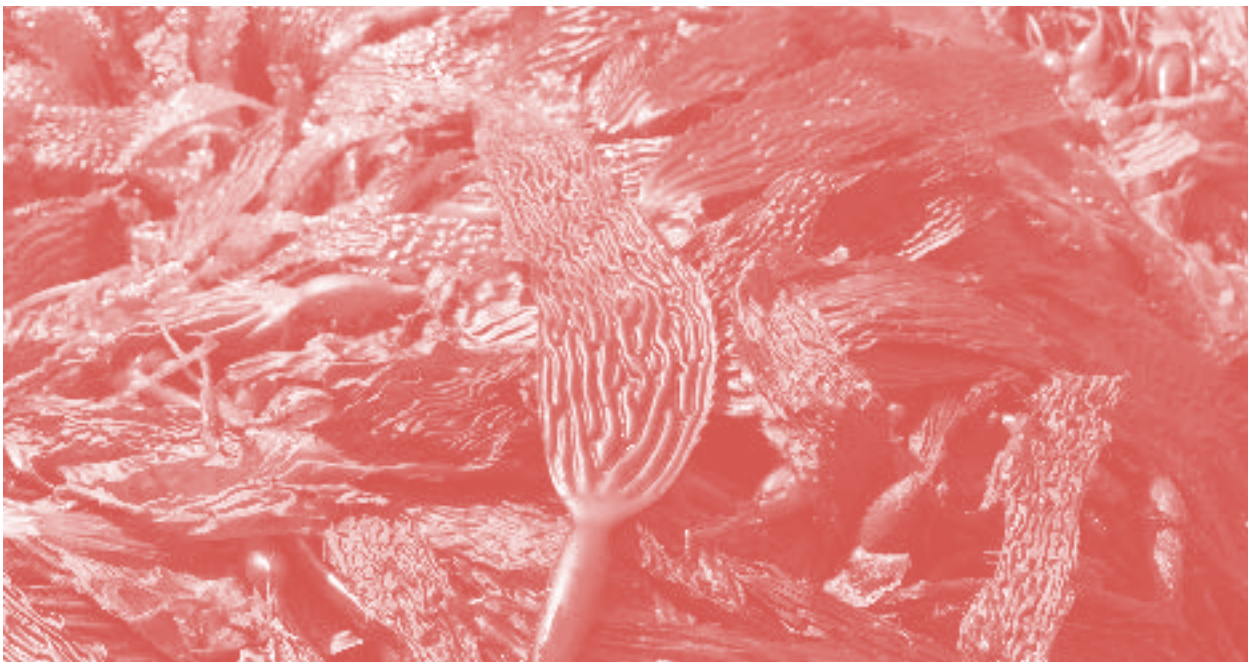


FIG. 53 HUIRALES EN LA COSTA  
ELABORACIÓN PROPIA

## Valor Antrópico

En el aspecto económico, el alga chilena tiene una gran importancia debido a la extracción de sus hidrocoloides para uso comercial y la exportación de la materia prima. Los alginatos, el agar y la carragenanina son los principales polisacáridos extraído de algas rojas, pardas y verdes. Estos son utilizados como un recurso importante para la industria alimenticia, la industria farmacéutica y para la biotecnología (Hamed, 2016).

## Carragenina

Las carrageninas son extractos de las algas marinas rojas (Rhodophyceas - Rodofitas). Estos son llamados ficocoloides o hidrocoloides en su forma molecular primaria, pero son también polisacáridos sulfatados con un contenido variable de esteres (Torre, Castañeda, Calle, & Anaya, 2009). Las carrageninas se utilizan en la industria alimenticia como estabilizantes, espesantes, viscosantes y gelificantes. Estas pueden gelificar en presencia del catión potasio o al estar expuestas al calor en un medio líquido. Son solubles al agua caliente, es decir son termorreversibles (Torre, Castañeda, Calle, & Anaya, 2009).

## Agar

El agar es un polisacárido constituido de agarosa y agarpectina que se extrae de las paredes de las algas verdes, pardas y rojas (Villalobos et al., 2007). Cerca de 8 mil toneladas anuales de agar son producidas mundialmente con un valor de 176 millones de dólares, siendo Chile el principal país productor con el 30% del mercado internacional (Ondarza & Rincones, 2008). El agar es utilizado principalmente como base para los medios de cultivo microbiológicos, aunque también tiene muchas aplicaciones en la industria alimenticia y farmacéutica a nivel mundial (Kirk, 1998). Este tiene propiedades gelificantes y espesantes, en donde pueden transformarse sin necesariamente variar el color, olor y sabor. Al igual que la carragenina, el agar es termoreversible y soluble en agua caliente.

## Alginato

El alginato se encuentra únicamente en la pared celular de las algas pardas. Este compone entre un 20% y 40% de su peso en seco (Calvo, 2011). Este polisacárido es utilizado comercialmente por sus propiedades gelificantes en la industria alimenticia y como componente cicatrizante y estabilizador en la biomedicina. Se puede encontrar en la gastronomía molecular en forma de caviar, o en varias pastillas del mundo de la medicina. Sin embargo, últimamente ha tenido un mayor desarrollo en el campo de bioplásticos, siendo empleado sobre papel, textiles y packaging (Rinaudo, 2008). Una de las propiedades más interesantes del alginato es su capacidad de formar un hidrogel en la presencia de calcio. Molecularmente se conoce la estructura como “caja de huevos”, ya que los iones de calcio se sitúan como puentes entre los grupos con carga negativa del ácido gulurónico (Calvo, 2011).

A diferencia del agar, el alginato es irreversible térmicamente una vez que está gelificado con calcio. Es decir, este no cambia su estado sólido al aplicarle calor. Es por esta capacidad que es también empleado en alimentos que requieren ser calentados en microondas

y deben mantener su forma gelificada (Albert, Salvador, & Fiszman, 2012). El proceso de extracción del alginato, requiere de maquinaria industrial y químicos especiales.

## Estado del Arte

En el contexto de diseño hay varios proyectos que han trabajado las algas como componente estructural principal del producto o material. Algunos utilizan la materia prima o biomasa, mientras otros utilizan los polisacáridos o derivados de estas. Para el caso de estudio se analizan ambos casos para entender el uso y manejo de estos químicos aglomerantes en aplicaciones de diseño.

## Derivados

FIG. 54 PROYECTOS QUE UTILIZAN POLISACÁRIDOS DE ALGAS



Fibra de alginato extruida en un baño de cloruro de calcio

ALGI KNIT

ALGIKNIT, 2017 USA



Botella en base a agar y agua en un molde congelado

AGARI

ARI JNSSON, 2016 LITUANIA



Packaging de agar

AGAR PLASTICITY

AMAM COLLECTIVE, 2016 JAPÓN



Bioplástico efímero en base a derivados de algas

DESINTEGRA.ME

MARGARITA TALEP, 2018 CHILE

## Biomasa

FIG. 55 PROYECTOS QUE UTILIZAN BIOMASA DE ALGA



Alga parda cocinada con pulpa de papel

TERROIR PROJECT

JONAS EDVARD, 2015 HOLANDA



Biomasa de alga trabajada como papel

ALGARUM NATURA

OFICINA CORPUSCOPULI, 2015 ITALIA.

# Formulación del Caso de Estudio

## Oportunidad de diseño //

### **Enfoque biomimético: Diseñar como la naturaleza**

A partir del estudio de los materiales en la naturaleza, es posible determinar que su composición química y estructural es poco azarosa y que sus propiedades responden directamente al contexto en el cual se desenvuelven. En la creciente práctica de los biomateriales para aplicaciones en el diseño, se han desarrollado proyectos experimentales en donde se utilizan ingredientes orgánicos de una forma un poco aleatoria e improvisada. Esta investigación propone un enfoque en donde se reconoce la relación simbiótica entre los componentes principales en los materiales naturales para poder replicarlo al utilizar ingredientes de soporte estructural (polímeros naturales) como de distribución y forma geométrica (minerales inorgánicos).

### **Metodología para diseñar un biomaterial**

Retomando el recorrido teórico hasta ahora, se establece una metodología para aproximarse a la creación de un biomaterial desde un análisis biológico y no a partir de una problemática específica.

Esta investigación propone un nuevo enfoque sistemático, donde, en primera instancia, se debe realizar un análisis biomimético de los materiales en la naturaleza, luego, la elección de un tipo de ecosistema natural, para así, poder identificar especies materiales relevantes para la investigación. En el caso de estudio, se propone el análisis de las posibilidades materiales a partir de carbonato de calcio de conchas de moluscos y polisacáridos derivados de algas.

### **Conocimiento material para aplicaciones de diseño**

En base a los distintos talleres, charlas y conversaciones con personas interesadas en participar del movimiento de biofabricadores, se define que el objetivo de la investigación no es lograr llegar a un producto comercializable en el mercado, sino más bien caracterizar el uso de un biomaterial para aplicaciones en el diseño. La investigación propone, mediante la experimentación y análisis, un proceso de conocimiento del biocompuesto en su totalidad que permita reconocer materialidades óptimas para ser aplicados en distintos procesos de producción para el diseño.

### **Accesibilidad y biofabricación de las materias primas**

Para el desarrollo del biocompuesto en base a algas y conchas se puede acceder a las materias primas mediante distintos métodos. Por un lado, se puede acceder a estas a través de la recolección de las especies en el litoral marino. Por el otro lado, se puede escalar mediante el uso de desechos de la producción antrópica ( $\text{CaCO}_3$ ) y la obtención de polisacáridos de algas a partir de industrias que lo procesen. Sin embargo, las condiciones óptimas para esta investigación buscan el desarrollo auto-sustentado del material por lo que sería ideal el poder optar a la reproducción de estos materiales en medios de cultivo controlados. No obstante, esta variable no es desarrollada en este caso de diseño, ya que involucra el conocimiento de otras tecnologías y datos científicos, más, es un objetivo proyectable de la continuación de esta investigación.

### QUÉ:

Calcáreo es una iniciativa de investigación y divulgación (Research & Outreach) open source que basa su ámbito de desarrollo en la caracterización de bio-materiales conformados por carbonato de calcio proveniente de conchas de *Mytilus chilensis* (mejillón) y derivados de algas, sumado a la divulgación de modelos transferibles en escenarios de biofabricación en diseño.

### POR QUÉ:

Las barreras impuestas para la masificación experimental de procesos de fabricación basados en biomateriales o bioprocesos se radica en la especificidad de la documentación científica y la ausencia de espacios de cooperación y divulgación orientadas a estas dinámicas de producción y transformación material.

### PARA QUÉ:

Expandir el alcance de la biofabricación por medio de la generación de conocimiento accesible y abierto a los grupos de experimentación y cooperación en biodiseño.

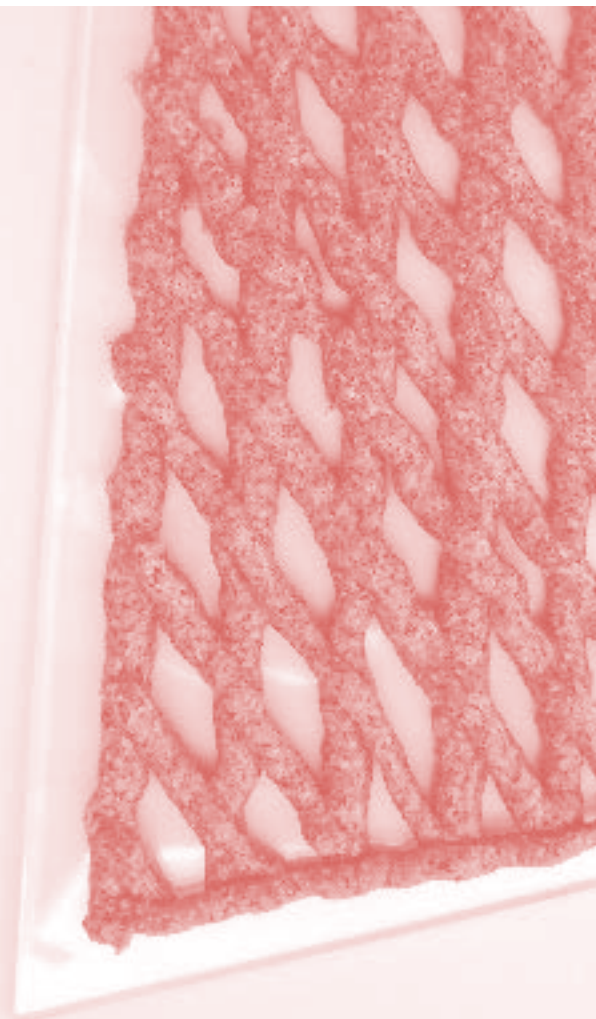


FIG. 57  
ELABORACIÓN PROPIA



### OBJETIVO GENERAL

Desarrollo y caracterización de un proceso para la fabricación de un material biobasado compuesto de carbonato de calcio y derivado de algas para su divulgación y difusión en áreas del diseño.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterización de biocompuesto de carbonato de calcio y derivados de algas.

IOV: Identificar la proporción entre las soluciones de polisacáridos algáceos y el carbonato de calcio de conchas de moluscos.

IOV: Realizar fichas de experimentación con variables definidas y registrar los procesos y resultados.

2. Definir las características mecánico-físicas como también la experiencia asociada al material.

IOV: Medir y analizar testeos de pruebas mecánicas en el laboratorio.

IOV: Realizar testeos con usuarios para comprender su experiencia asociada al material y manejo de las recetas.

3. Proponer métodos de fabricación del material para el desarrollado en áreas de diseño

IOV: Analizar los resultados de la caracterización del material para proyectar distintas aplicaciones y escenarios de producción.

FIG. 58  
ELABORACIÓN PROPIA

FIG. 59 CONCHAS EN  
COSTA DE PUERTO  
WILLIAMS  
-  
ELABORACIÓN PROPIA





# Protocolo de biofabricación en territorios remotos

## MIT - PUC Patagonia Research trip Systematizing biomaterials systems

### Viaje de investigación

A partir de mi colaboración e integración en el equipo del Laboratorio de Biofabricación UC, me invitaron a participar de un viaje de investigación al sur de Chile junto al Laboratorio de Biomateriales de Valdivia (Labva), Académicos y alumnos del MIT y una investigadora del FabLab de la Universidad de Rhine-Waal en Alemania. El objetivo de la investigación era el desarrollo de un sistema auto-sustentado de biofabricación en territorios remotos. Para ello, viajamos en enero durante 10 días por el sur de Chile con el fin de reconocer los recursos y posibilidades de utilizar materiales locales para la producción sistematizada de biomateriales. A la vez, compartiendo espacios de discusión entre nosotros y con la comunidad sobre los desafíos que puede

### Puerto Williams

El punto estratégico designado para la investigación fue Puerto Williams. Principalmente porque es la ciudad más austral del planeta por ende, permite la comprensión de la región subantártica ya que presenta enormes restricciones en el transporte y en la adquisición de bienes. Además su ubicación geográfica y su extenso territorio proporciona una diversidad de paisajes y recursos biológicos (Arenas, et. al 2005). En consecuencia, este territorio presenta oportunidades, desde la perspectiva de la biofabricación, para establecer cadenas de producción locales y auto-suficientes que proporcionen herramientas para la utilización de los recursos disponibles en la zona. Este punto es relevante para mi proyecto de investigación ya que propone un enfoque en donde se obtiene el material a partir de lo que está disponible en el entorno, sin depender de ninguna industria productora.



FIG. 60  
RECONOCIMIENTO DE HONGOS  
PARÁSITOS Y DE SUELO EN  
SALIDAS A TERRENO  
-  
ELABORACIÓN PROPIA

FIG. 61 EQUIPO DE  
INVESTIGACIÓN:  
ADRIANA CABRERA, PALOMA  
GONZALEZ, ALEJANDRO WEISS,  
MARÍA JOSÉ BESOÁIN, CAROLINA  
PACHECO, KYLE BRANCHESI, ANI-  
BAL FUENTES Y DARLE SHINSATO  
-  
PUERTO WILLIAMS ENERO, 2019

En base a la experiencia desarrollada en el viaje, establecimos un protocolo de bio fabricación para la aproximación a un territorio remoto. Este consideró 4 etapas de desarrollo.

\*\*

En el viaje de investigación se realizó una aproximación a distintos tipos de ecosistemas. Sin embargo, para describir el proceso, solo se describirán los pasos ejemplificados en el ecosistema marino con el trabajo a partir de conchas y derivados de algas

## Etapas para biofabricar en un territorio remoto

### 1. APROXIMACIÓN AL TERRITORIO

Esta etapa se refiere a la planificación previa a la visita. Debe considerar la investigación de los ecosistemas existentes, las distintas especies, los recursos antropogénicos, las comunidades y culturas nativas como también las industrias y actores relevantes en el territorio. Además se debe anticipar todo el equipo que se debe llevar a la zona para los distintos procesos de fabricación.

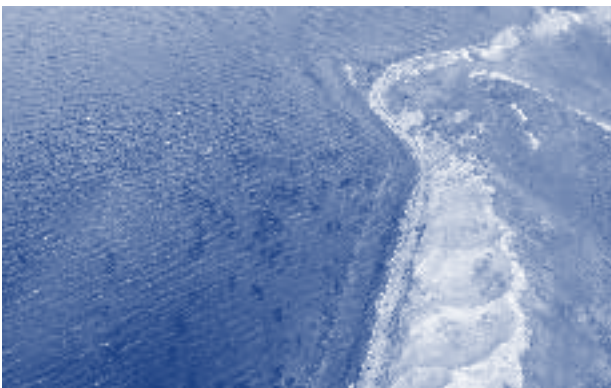


FIG. 63 ISLA NAVARINO DESDE EL AVIÓN - ELABORACIÓN PROPIA

### 2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Una vez instalados en el territorio, se realizan salidas a terreno para la recolección de distintos organismos biológicos y materia prima. En cuanto a las expediciones en el ecosistema costero, era relevante la recolección de conchas y algas de los cuales reconocimos choritos, mytilus edulis, y macroalgas como macrocystis pyrifera.



FIG. 64 CHORITOS RECOLECTADOS A LA ORILLA DE LA ENTRADA DE MAR - ELABORACIÓN PROPIA

FIG. 62 AFICHE DE CONFERENCIA



En base a la experiencia de este viaje, desarrollamos un paper titulado "Prototype of a self-sufficient biofabrication protocol for remote territories", este fue seleccionado para ser expuesto en la conferencia "The Design After" en noviembre de este año en Bogotá, Colombia.

### 3. PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES

Una vez obtenida la materia prima, es necesario trabajarla para obtener los componentes químicos para la producción material. En cuanto a las conchas recolectadas de choritos, se utilizaron dos procesos para obtener la materia. En una primera fase se hornearon las conchas para así volverlas más frágiles y facilitar el proceso de molido, luego estas fueron procesadas en una licuadora para poder obtener una granulometría



FIG. 65 PROCESO DE MOLIDO DE CHORITOS ELABORACIÓN PROPIA

apta para el trabajo del material. Por el otro lado, para esta investigación, se declara la utilización de alginato y agar procesado industrialmente, ya que no se tiene acceso a la tecnología para extraer de forma casera estos polisacáridos. Sin embargo, se espera que en el futuro la democratización de este proceso pueda aportar al desempeño de la creación de este material y sea posible su utilización a partir de la recolección de algas.

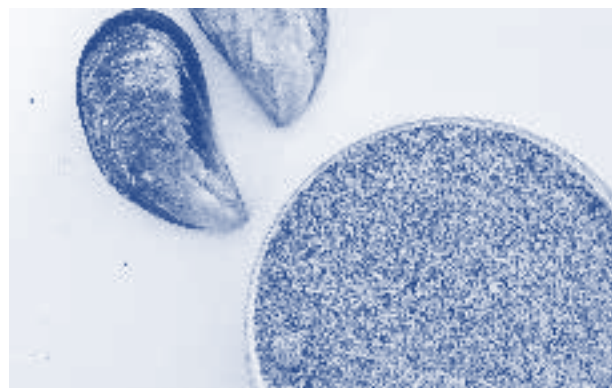


FIG. 66 MATERIAL GRANULADO DE CHORITOS ELABORACIÓN PROPIA



MSAL1

MARITA SAUERWEIN, ZJENJA  
DOUBROVSKI, JOOST VETTE



MSAL2

LABVA



BC-CEN-O4

LABVA



MSSU1

MARITA SAUERWEIN, ZJENJA  
DOUBROVSKI, JOOST VETTE

FIG. 67 RECETAS DE MATERIOM  
UTILIZADAS PARA LA  
EXPERIMENTACIÓN EN  
EL VIAJE DE INVESTIGACIÓN

#### 4. EXPERIMENTACIÓN MATERIAL

Desarrollo de probetas y matrices experimentales con los distintos materiales y aglomerantes naturales. Uno de los experimentos realizados en el viaje consistió en la utilización de conchas de choritos recolectadas en la costa de Puerto Williams. El propósito del ejercicio es la caracterización de recetas de código abierto de biocompuestos basados en  $\text{CaCO}_3$  y aglutinantes orgánicos en un territorio remoto. Estas recetas fueron

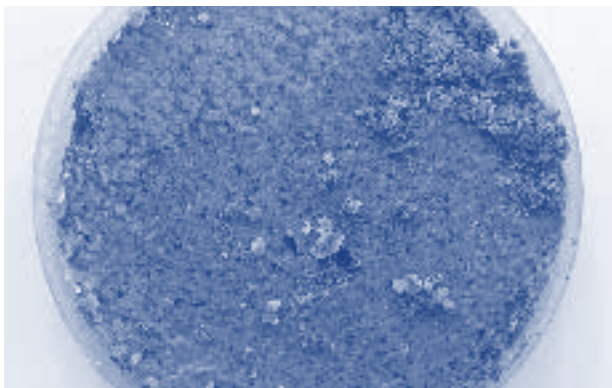


FIG. 68 EXPERIMENTO  
CON RECETA MSSU1

obtenidas a partir de la plataforma Materiom (2019) (Fig 67). El objetivo del experimento fue determinar si las recetas de código abierto se pueden usar para este tipo de entornos y con materia local. Asimismo, se explora la relación entre los compuestos, los aglutinantes, su granulometría, su reducción volumétrica y su comportamiento como material para el desarrollo de determinados objetos. En los biomateriales el agua también tiene un desempeño importante ya que actúa como solvente y plastificante. Además también es el medio en donde ocurren distintas reacciones químicas que facilitan procesos de conformación material. Sin embargo se debe tener un control de la cantidad de agua utilizada, ya que esta es un bien en crisis y en los próximos años podría llegar a ser un recurso escaso.

# E.Nº1

## Matriz Experimental

### INVESTIGADORES

ANIBAL FUENTES &  
CAROLINA PACHECO

### TÍTULO DEL EXPERIMENTO

Caracterización del estado del arte de biocompuestos en base a  $\text{CaCO}_3$  y aglomerantes orgánicos.

### OBJETIVO DEL EXPERIMENTO

Evaluar y caracterizar el estado del arte de recetas abiertas que utilizan  $\text{CaCO}_3$ , para determinar la relación entre compuestos, aglomerantes, su granulometría, su reducción volumétrica y su comportamiento como material.

### HIPÓTESIS EXPERIMENTO

Las recetas disponibles en plataformas abiertas de transferencia material (Materiom) son replicables para la fabricación de biomateriales en territorios remotos.

### VARIABLES A MANIPULAR

$\text{CaCO}_3$  a utilizar:  
- Procesado industrialmente  
- Chorito molido

Aglomerantes  
- Alginato  
- Agar  
- Azúcar

Granulometría:  
- Procesado ultra fino  
-  $\varnothing < 0,5 \text{ mm}$   
-  $\varnothing 0,5 - 1 \text{ mm}$

### VARIABLES CONTROLADAS

Dimensión de la Probeta  
Condiciones ambientales  
(luz, temperatura, humedad)

### VARIABLES A MEDIR

Reducción volumétrica

### DESCRIPCIÓN DE LA PROBETA

Placa petri de  $\varnothing 85 \text{ mm}$   
Altura: 10 mm

### N (MUESTRA)

1 por granulometría 3 por receta

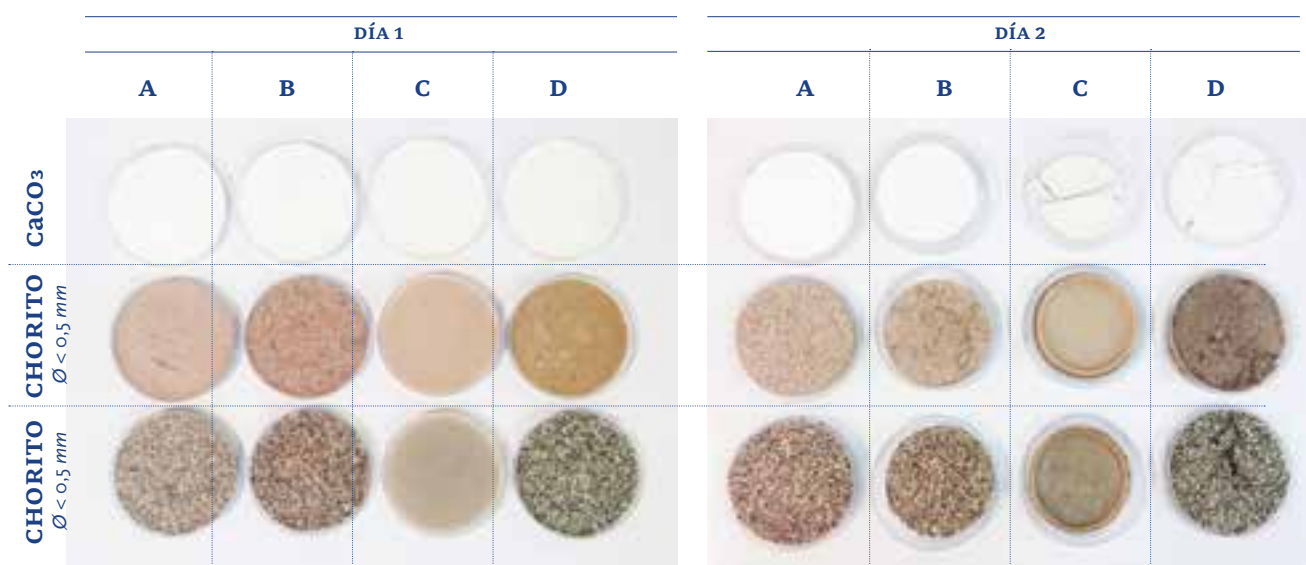
### RESULTADOS A ANALIZAR:

- Caracterización en base al comportamiento del material  
- Observación y medición de disminución del volumen.

## E.Nº1

### Matriz Experimental

	INGREDIENTES						
	Agua (ml)	Mytilus (gr)	Alginato (gr)	Agar (gr)	Glicerina (ml)	Azucar (ml)	Prop. de Ca (gr)
<b>A-MSAL1</b>	23,5	55,9	0,5	-	-	-	-
<b>B-MSAL2</b>	37,4	34	8,5	-	-	-	-
<b>C-BC-CEN-04</b>	58,3	14	-	1,5	1,8	3,5	0,8
<b>D-MSSU1</b>	12	55,9	-	-	-	12	-



#### CONCLUSIONES POR RECETA

(A) Receta con muy poco alginato (2%) y relación volumétrica concha/ solución de alginato de alrededor de 1:1, presenta poca reducción del volumen, pero no tiene mucha resistencia a la compresión. A pesar de su acabado liso, tiende a desprender materia.

(B) Receta con mucho alginato (22%) y relación volumétrica de concha/ solución de alginato 1:1,5. Muy resistente a la compresión, pero su volumen disminuye bastante. El único problema de esta receta es que la cantidad de alginato utilizado es excesivo.

(C) Presentan un cambio de fase muy interesante, donde las partículas de CaCO<sub>3</sub> decantan formando un material anisotrópico. Sin embargo, el material no presenta buena resistencia a la flexión o compresión. Por lo que es tan solo un aglomerado de las partículas sin ninguna estructura u organización jerárquica.

(D) No fueron exitosas, se desarman al tacto y quedan pegotes.

#### CONCLUSIONES EXPERIMENTO

La experimentación no fue muy planificada ni estandarizada por lo que los resultados no arrojaron mucha información. Con esto me refiero a que en el proceso de producción no se controlaron todas las variables necesarias. Si bien por cada receta se utilizó el mismo molde, no todos fueron llenados hasta la misma altura. Además el proceso de secado no estaba controlado. Por lo que para la próxima experimentación se discriminan más variables y se establece una matriz de experimentación y mismos procesos por cada muestra material.





FIG. 68 MUESTRA DE BIOMATERIALES DE BIOFAB Y LABVA EN FAB LAB AUSTRAL



## FabLab Austral

### Inauguración y montaje de Lab Biomateriales

El viaje de investigación coincidió con la inauguración del Fab Lab Austral. Este proyecto fue desarrollado por la colaboración entre la Universidad Católica, Fundación Diseño Distribuido, el Center for Bits and Atoms del Massachusetts Institute of Technology (MIT) y el Fab Foundation. Este laboratorio de fabricación es abierto a la comunidad y promueve la capacidad de crear soluciones locales y en tiempo real. Un aprendizaje que adelanta cómo sería la vida del hombre y la mujer en espacios aislados (en la tierra o fuera de ella), con una necesidad de autonomía para la creación y materialización de soluciones, al fin de la cadena de suministros (Diseño UC, 2019). Nuestra participación en la inauguración del FabLab consistió en el montaje de un sector para trabajar con Biomateriales. De esta forma, el espacio nos permitió contar con un ambiente controlado para el desarrollo de las experimentaciones como también para mostrar las posibilidades de trabajar con biomateriales a la comunidad de Puerto Williams. En esta ciudad el uso de recursos naturales tiene mayor relevancia, ya que es una comunidad muy aislada y con poco acceso a la industria. Es por eso que este espacio de trabajo ejemplifica un escenario en donde la comunidad puede acceder al desarrollo de objetos y productos como también experimentar con biomateriales y recursos locales.

# Granja Marina Chauquear

## Planta Miticultora en Calbuco

Como parte de la investigación, junto al equipo, viajamos a Calbuco en donde pudimos visitar la Granja Marina Chauquear. Esta empresa miticultora se dedica al cultivo y a la exportación de choritos. En ella nos recibió Claudio Torres, Gerente de Operaciones, quien nos explicó el procesamiento de su planta. En esta planta se producen alrededor de 6.000 a 7.000 toneladas de choritos al año. Sin embargo en la región (Los Lagos) hay industria que producen hasta 300.000 toneladas. Es por esto que esta empresa, en el escenario nacional, está posicionada como mediana-grande. “Del total de producción anual, la carne te rinde en un 25% promedio al año, hay veces que te da 27% o hay otros que te da un 15%. Esto quiere decir que el 75% restante (aprox) es puro desecho y de eso el 65% es concha del mejillón.” afirma Claudio refiriéndose a la producción de su planta.

### Tratamiento de residuos en la planta

En la Granja de Chauquear, se producen alrededor de 250.000 kg semanales de residuos de choritos. Para retirar los residuos de la fábrica estos son acumulados en camiones. Para optimizar la cantidad de conchas que este puede transportar, los residuos son triturados con un molinillo de baja potencia. Una vez lleno, el

camión transporta los desechos a plantas caleras. Estas extraen carbonato de calcio de las conchas para utilizarlo, principalmente, en la neutralización de los suelos agrícolas. Sin embargo, estas plantas quedan un poco lejos por lo que muchas veces el desecho termina siendo acumulado en vertederos.

*Claudio declara que es posible agregar un triturador de mayor potencia para obtener un polvillo en la planta. Para él sería una ventaja trabajar en su industria ya que se ahorraría tener que recurrir a otros recursos para deshacerse de su “desecho” (muy valioso para nosotros).*

*Además es consciente de cómo la industria calera quiere obtener CAL, y que la obtención de CAL emite muchas emisiones de carbono a la atmósfera. También nos comenta que el mejillón no tiene tanto porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  en su composición en comparación a otras conchas por lo que no es tan valioso para esta industria*

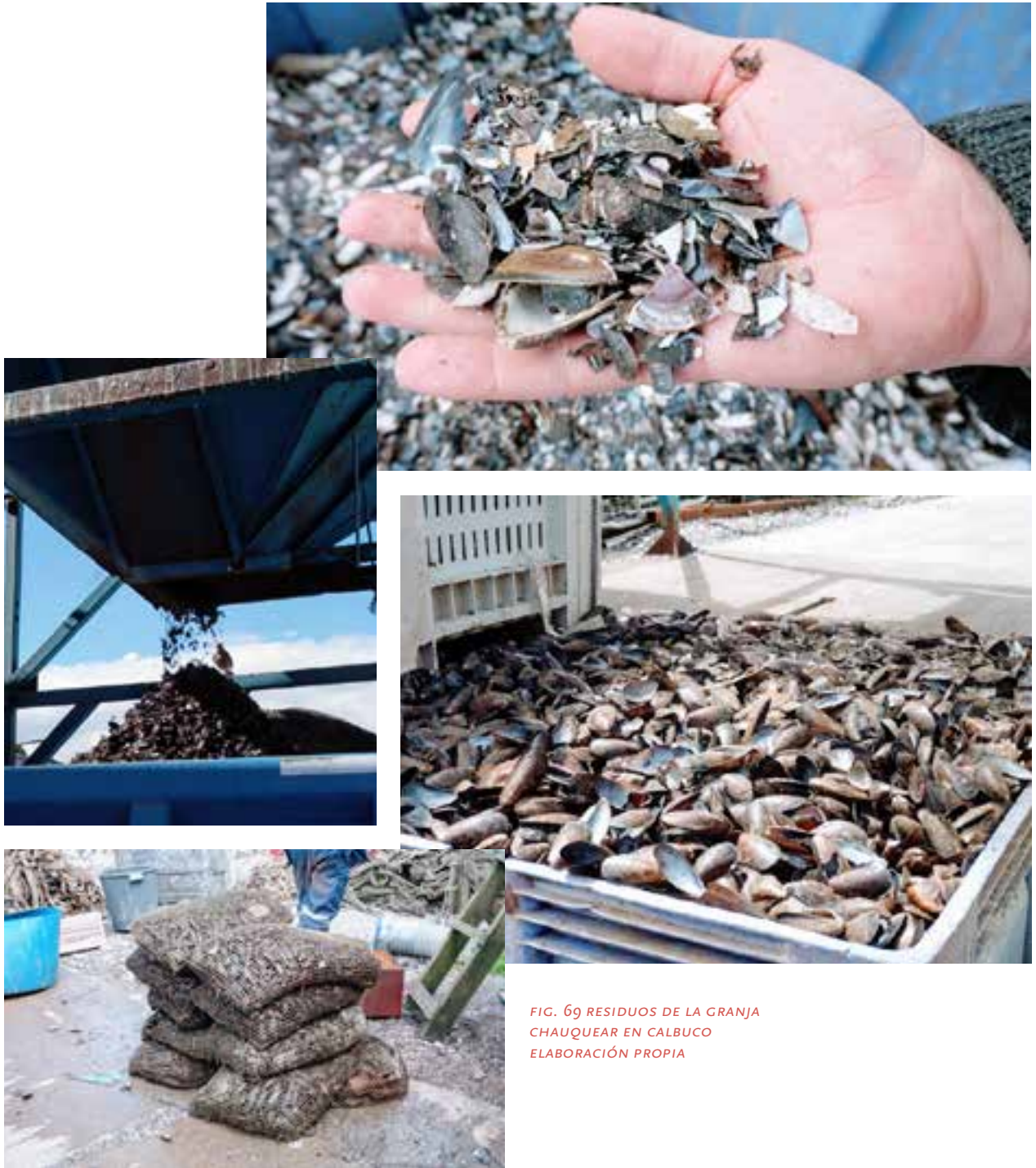


FIG. 69 RESIDUOS DE LA GRANJA  
CHAUQUEAR EN CALBUCO  
ELABORACIÓN PROPIA

# Taller de experimentación formal con biomateriales

---

**PROFESORES:** ANIBAL FUENTES  
SEBASTIÁN RODRIGUEZ  
\*\*CAROLINA PACHECO

---

**COORDINACIÓN:** CATALINA DE PABLO

---

**REGISTRO:** SEBASTIÁN RODRIGUEZ  
CAROLINA PACHECO

---

**Nº DE ALUMNOS:** 7

---

---

**DÍA:** MARTES 29 DE ENE. 2019

---

**DURACIÓN:** 1 DÍA (18:30 - 21:30 HRS.)

---

**LUGAR:** CAMPUS LO CONTADOR

---

Durante el mes de enero, el Laboratorio de Biofabricación FADEU, organizó una segunda iteración del primer taller en el que fui voluntaria en diciembre. Sin embargo, debido a mi integración en el equipo y conocimiento en el desarrollo de un biomaterial a partir de conchas, esta vez, me incluyeron como parte del equipo docente. En el taller pude presentar un poco de mi conocimiento frente al carbonato de calcio y su relevancia en la naturaleza, ya que iba a ser uno de los materiales a trabajar en el taller.

El afán de experimentar por parte de los alumnos les llevó a crear nuevas formas de trabajar con el material a partir de conchas. Trabajaron el material como plastilina o una masa moldeable y también intentaron extruirlo con una jeringa. Sin embargo, cuando les preguntamos como habían llegado a ese resultado, notaron que no habían

registrado los pasos para hacerlo y que no sabían como replicar la receta. Esto marca una interacción crítica para el proyecto y el desarrollo del manejo de este material para la divulgación y difusión de como trabajarlo.

La participación en el taller me permitió adquirir mayor experiencia en torno a la transferencia de conocimiento y al trabajo con personas interesadas en involucrarse en este mundo. De la misma forma, aprendí sobre los métodos y experimentos prácticos para el desarrollo de un taller de 3 horas de duración.



FIG. 70 REGISTRO DE TALLER DE EXPERIMENTACIÓN MATERIAL

FOTOS: SEBASTIÁN RODRIGUEZ & CAROLINA PACHECO

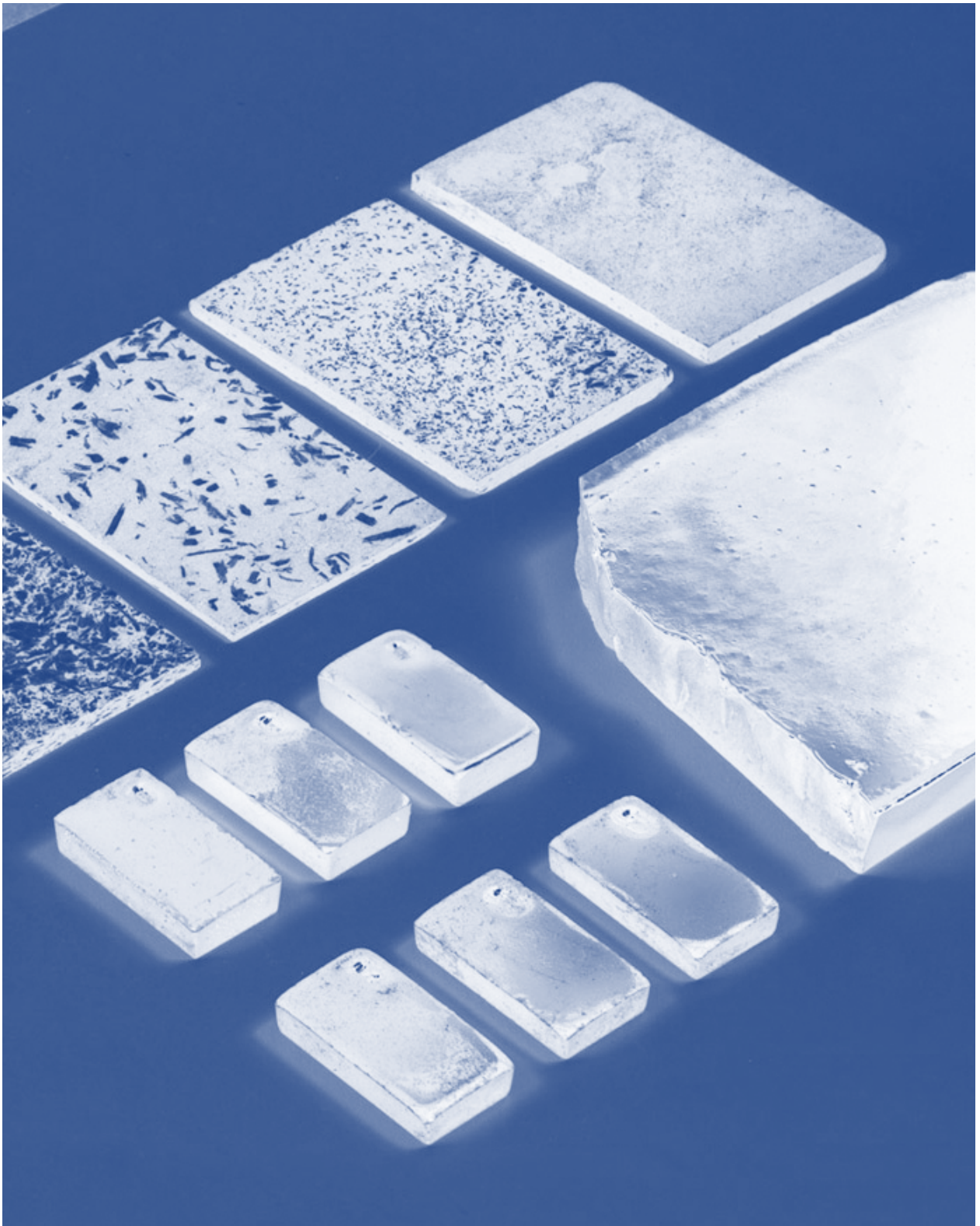
*“Cuando el material es utilizado y entendido como soporte, no solo trae como consecuencia la consolidación de un espacio difuso de diseño y recepción de la obra sino que, también, al comprender su potencial y particularidad, el material transforma y condiciona las posibilidades de un resultado absoluto dentro del proceso de creación. Así, la utilización de este elemento - que en su singularidad contiene reglas y descubrimientos propios - como punto de partida y base de la producción, propicia a que aparezca lo experimental como fenómeno conciliador de la diferencia, ya que ahora la obra se abre para convertirse en un prototipo eterno y variante que en cada uno de sus resultados, formatos y escalas evidencia el proceso. Cada objeto da cuenta de su unicidad y, por ello, se posiciona como un molde y producto al mismo tiempo: es un vestigio del proceso de creación que se manifiesta como un producto utilizable, apropiable, en el marco del diseño.”*

FUENTE: TEXTO: @VALENTINAIZQ

FIG. 71  
RECONFIGURATION OF A TREE

PROYECTO QUE DESARROLLO UNA BIORESINA Y LUEGO CONSIDERA LA REALIZACIÓN DE UNA SERIE DE OBJETOS Y PRODUCTOS POR PARTE DE VARIOS DISEÑADORES

STUDIO THOMAS VAILLY, 2015



CONOCIMIENTO MATERIAL COMO PRÁCTICA

EXPERIENCIA Y APLICACIÓN A TRAVÉS DEL MATERIAL

MATERIAL DRIVEN DESIGN

## Conocimiento de la materia como práctica de estudio

La obtención de conocimiento a partir de la experimentación material adquiere mucha importancia para el diseño y su responsabilidad frente al mundo en el cual nos estamos desarrollando. Los materiales siempre han sido una parte fundamental de la enseñanza de la creatividad, pero es durante el movimiento del Bauhaus que esta integración es formalizada (Cabrera, Nebe, & Megill, 2018). Por ejemplo, en cursos de Johannes Itten se explora la contraposición sensorial de los materiales con la “teoría de contraste”, como también László Moholy-Nagy propone una experiencia táctil para entender ciertos materiales físicos (Bauhaus100, 2018). Por el otro lado, Metcalf (1994) como Kahn (2003) discuten que “el material es capaz de hablar” y que el diseñador debe estar siempre dispuesto y abierto a escuchar lo que debe decir. Louis Kahn propone que la forma del material responde intrínsecamente a la función de dicho objeto, es decir, la función se acomoda a la forma después de un proceso de entendimiento de la tarea o propiedades que este debe cumplir (Tostoos, 2018) Una de sus frases célebres es cuando se refiere a un ladrillo como una entidad y le pregunta: ¿Qué es lo que quieres ser ladrillo? En esto reconoce que se debe honrar al material y dejarlo ser lo que este propone en cuanto a sus características intrínsecas.

Finalmente Oxman y Rosenberg (2010) discuten un nuevo enfoque donde el proceso de dar forma a un material está informado directamente por la combinación de las propiedades del material y sus limitaciones ambientales. El material precede a la forma y es a partir del estudio de las propiedades estructurales y ambientales de donde se obtiene la geometría y la función (Oxman & Rosenberg, 2010). Esta conceptualización teórica y enfoque hacia los materiales nos lleva a preguntarnos, cómo podemos entender como un material se configura? Cómo podemos predecir su comportamiento en un determinado contexto?



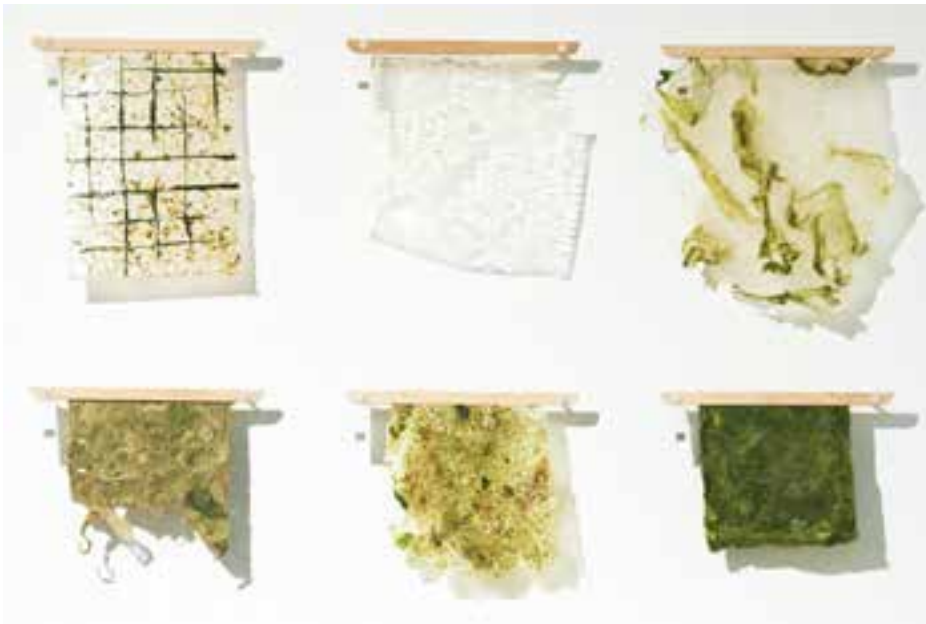


FIG. 72  
SEAMPATHY EXPERIMENTACIÓN Y  
PROCESO DE "TINKERING" CON  
EL MATERIAL EN BASE A ALGA  
-  
DANIEL ELKAYAM, 2019

## Experiencia y aplicación a través del material

Recientemente, este enfoque ha cobrado interés por parte de muchos diseñadores, y las ganas de involucrarse en la práctica experimental ha impulsado varios proyectos mundialmente. Esto ha impulsado el desarrollo de cursos y talleres en donde se abre la posibilidad de compartir este conocimiento a estudiantes de varias disciplinas para incentivar la experimentación con materiales a partir de un enfoque sensorial. Este enfoque ha utilizado el concepto de "tinkering" como una forma de relacionarse con el material mediante el juego reiterado con este (Parisi, Rognoli, & Sonneveld, 2017). La interacción que ocurre cuando un diseñador debe trabajar con un material, generalmente se enmarca en la búsqueda de dominar las limitaciones y requerimientos físico-mecánicos, además de encontrar el mejor método para darle una forma específica (Ashby et al., 2002). Regularmente, cuando se diseña un material, el análisis corresponde a testear sus propiedades técnicas y mecánicas para poder establecer su uso determinado en un producto. Sin embargo, el estudio de Karana et al (2015) demuestra que, en los últimos años, esta interacción ha cambiado en cuanto a cómo nos acercamos a estos, cómo nos preocupamos por su estética y composición, como les atribuimos un significado y cómo nos pueden transmitir ciertas emociones.

*"Material Tinkering aims to extract data, understand material properties, understand constraints, and recognize its potentialities. Material Tinkering helps to gain knowledge about materials and to develop procedural knowledge through experiential learning. Tinkering fosters sensorial awareness of material qualities. Tinkering allows generating unique and meaningful visions by making and manipulating materials. The Material Tinkering process encourages continuous development and perpetual prototyping. Tinkerers use pictures, videos, drawing, notes, and diaries to document the process. Documentation records the process and makes the process visible, communicating it and allowing tinkerers to return to any part of the process"*

PARISI, ROGNOLI, & SONNEVELD, 2017

# MDDM

## Material Driven Design Method

El método “Material Driven Design”, desarrollado en 2015 por académicos de las Universidades de Delft en Holanda y el Politécnico de Milán en Italia, propone un enfoque desde el diseño de la experiencia del material, en un ciclo iterativo de experimentación, hasta que se llega a entender lo que el material quiere “ser”. Esto deriva en la percepción de distintos usuarios en cuanto las capacidades sensoriales, interpretativas, afectivas y los niveles performativos del material en relación a sus propiedades físicas y mecánicas (Karana, Barati, Rognoli, & Zeeuw van der Laan, 2015).

Para el desarrollo del biomaterial a partir de carbonato de calcio y algas, se toma una parte de esta metodología para el desarrollo experimental de este, ya que establece un enfoque sensorial que resulta interesante de analizar. Sin embargo, esta no se completa en su totalidad ya que el enfoque del proyecto no abarca la aplicación en un producto de diseño. Sino, más bien, lograr entender y caracterizar el material para así poder desarrollar una clasificación de sus características y propiedades en distintos escenarios de producción. De todas formas es relevante el desglose de esta metodología y análisis de los pasos a seguir.

(1) Entender el Material,

Caracterización Técnica y Experimental:

En este primer acercamiento el diseñador debe entender el compuesto en todas sus aristas para luego caracterizarlo tanto técnica como experiencialmente. Para ello se elaboran ciertos procesos en paralelo y simultáneamente.

(1.1) Caracterización Técnica: En esta etapa el diseñador debe “jugar” con el material; combinarlo con otros materiales, cortarlo, doblarlo, quemarlo y romperlo para entender las cualidades intrínsecas, sus limitaciones y oportunidades de aplicación. Al finalizar esta etapa el diseñador debe entender claramente las propiedades técnico-funcionales y como el material puede ser fabricado o procesado.

(1.2) Caracterización Experiencial: En esta sección se deben entender las cualidades experienciales del material en 4 niveles: Sensorial, interpretativo (significados), afectivo (emociones) y performativo (acciones, actuaciones). Luego se debe testear la recepción de las personas en estos niveles al interactuar con distintas muestras del material (formas, tamaños, porosidad, rigidez, flexibilidad). En base esto se debe hacer un mapa conceptual para iden-

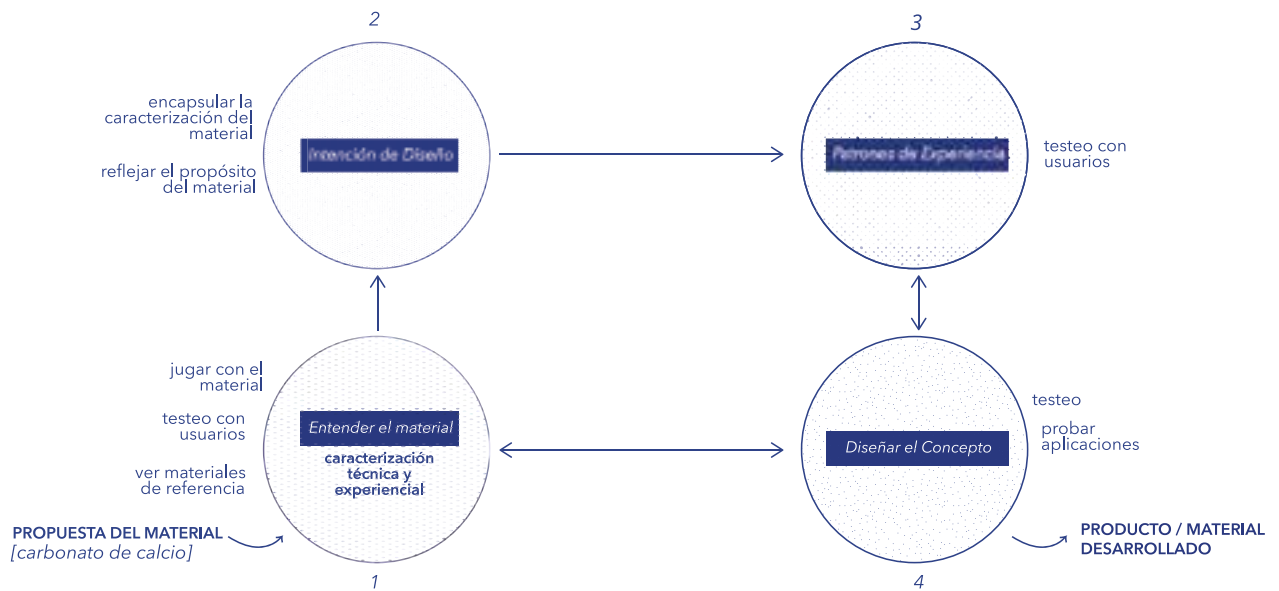


FIG. 73  
MAPA CONCEPTUAL DE MDD  
ELABORACIÓN PROPIA

tificar aquellos significados que aportan o es necesario cambiar para la posible aplicación del compuesto a una forma, producto o contexto. En consecuencia se debe posicionar el material entre otros similares que ya existen en el mercado (ver gráfico)

(2) Creación de la Intención de Diseño: En esta fase es el diseñador quien expresa el rol del material en cuanto a sus capacidades técnicas y la experiencia que le entregaría al usuario aplicado a un producto. Es necesario además especificar su propósito frente a otros productos, personas y contextos. A partir de esto determina ciertos conceptos que atribuyen a la visión de la aplicación del compuesto.

(3) Manifestar Patrones de Experiencia material: Esta etapa refiere principalmente a la interacción con usuarios, se debe entender como/donde otras personas interactúan o experimentan con el material en la forma que el diseñador propone. Para ello se buscarán ejemplos de la interacción deseada en materiales y productos existentes. En consecuencia el testeo corresponde a evaluar el concepto atribuido en el paso 2 por el diseñador reflejado en otros productos y como es la escala de sensaciones percibida por el usuario.

(4) Creando el Concepto: Esta última etapa es necesario sólo si aún no se tiene una aplicación específica para el material creado. Para ello es necesario crear distintos conceptos y pedirle a usuarios que, en base a una ficha técnica de cómo realizar el material, desarrollen una posible aplicación y producto con el patrón conceptual.

# Referentes del proyecto

## Diseño Colaborativo

---

### 1. RECONFIGURATION OF A TREE

---

Es un proyecto de investigación desarrolla una bioresina en base al árbol de Pinus Pinaster. Con el fin de revelar todo el potencial del material, se entregó la resina negra y madera de pino a los diseñadores David Derksen, Gardar Eyjolfsson y Lex Pott, quienes reconfiguraron una parte del árbol en varios productos como zapatería, biombos, sillas, entre otras cosas.



FIG. 74  
STUDIO THOMAS VAILLY,  
HOLANDA , 2015

---

### 2. TO SEE A WORLD IN A GRAIN OF SAND

---

Este proyecto hace un llamado a colaborar a personas de distintas partes del mundo al pedirles arena de su entorno local. De esta forma pueden generar una exposición de vidrio hecho a partir de playas de todas partes del mundo. "Al convertirse en parte de nuestro trabajo, comienzan a apreciar la riqueza de las áreas locales de nuevas maneras y, por lo tanto, se identifican más profundamente con su entorno".



FIG. 75  
ATELIER NL,  
HOLANDA , 2015

## De producción autónoma

---

### 3. THE SHELLWORKS

---

Proyecto que elabora bioplástico a partir de quitina proveniente del exoesqueleto de camarones. El proyecto pretende mostrar todo el desarrollo del material para evidenciar su ciclo de vida mediante la elaboración de máquinas de escritorio y con tecnología accesible a cualquiera que quiera diseñar con este material. Se rescata el uso de producción casera y a la mano para el desarrollo de productos para diseñadores.



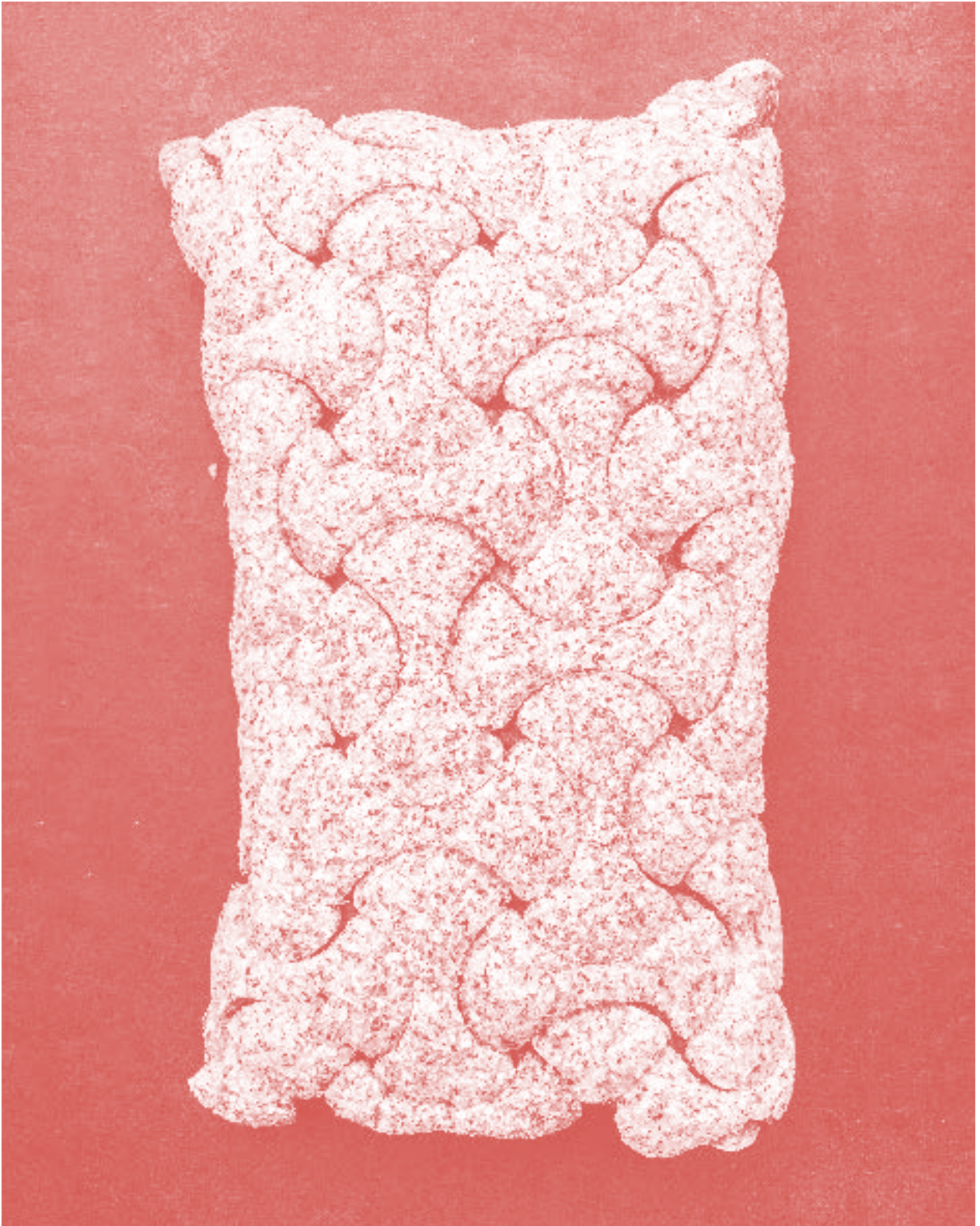
FIG. 76  
INSIYA, AMAR, ANDY & ED  
INGLATERRA , 2019

*“Un mecanismo evolutivo más brusco que la mutación: una unión simbiótica que llega a ser permanente. Al crearse organismos que no son simplemente la suma de sus partes componentes, sino algo más, como la suma de todas las combinaciones posibles de cada una de sus partes.”*

LYNN MARGULIS, 1986

FIG. 77  
MATERIAL TINKERING CON  
MATERIAL CALCÁREO  
DESARROLLADO

ELABORACIÓN PROPIA



## Biocompuesto en base a conchas y derivados de algas

En paralelo con el resto de las actividades, continué con la experimentación formal con el biocompuesto para así poder familiarizarme con su comportamiento desde todas las aristas. Para ello realicé una serie de experimentos a partir de mi experiencia previa y los objetivos que buscaba cumplir. De esta forma seleccioné tres recetas que había utilizado antes y en base a esto realicé una experimentación "libre" y de juego con el material. Esta exploración buscaba encontrar un método productivo interesante y replicable. Sin embargo no se logró llegar a resultados muy interesantes.

# E.Nº2

## Material Tinkering

---

### TÍTULO DEL EXPERIMENTO

---

*Juego y exploración para la conformación del material*

---

### OBJETIVO DEL EXPERIMENTO

---

*Evaluar el comportamiento de los materiales, desarrollados en el viaje de investigación, frente a distintas configuraciones de forma e interacción con otros materiales*

---

### HIPÓTESIS EXPERIMENTO

---

*A partir del trabajo iterativo con la materia, un resultado será interesante para el desarrollo de este como enfoque principal para el proyecto.*

---

### DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

---

*Este experimento consiste en trabajar con los materiales desde un enfoque sensorial, (Paris & Rognoli, 2017) a partir del desarrollo de distintos moldes y formas de trabajar la combinación entre derivados de algas y conchas.*





FIG. 78  
REGISTRO DE LA  
EXPLORACIÓN MATERIAL

---

#### CONCLUSIONES DE LOS EXPERIMENTOS

---

Luego de hacer las experimentaciones comprendí que este método de aproximación experimental no arrojó resultados muy interesantes para el desarrollo del proyecto. Esto no quiere decir que no sea un buen método para aproximarse al material, si no que en mi caso, los resultados no dieron luces ni sentido. Es más, el proceso fue un poco frustrante ya que no se veían resultados prometedores para su replicación y transferencia. En base a esto se toman una serie de decisiones para continuar con el desarrollo de los experimentos.

En primer lugar, se descarta el trabajo con agar ya que este no brindaba buenas características mecánicas al material en cuanto a su resistencia a la compresión o rigidez. Se rescata la forma en el cual se compone y configura mediante las fases de secado (foto de material curvado), ya que actúa como una matriz elástica para el mineral, sin embargo, sus aplicaciones son más prometedoras para el área de creación artística y estética

y no tanto para aplicaciones más funcionales en el diseño. Por el otro lado, se decide trabajar únicamente con la combinación de alginato y conchas. Esto principalmente, porque es interesante la composición y reacción química que se genera en este material en particular. Por un lado, no se necesita ninguna fuente de calor ya que los enlaces de alginato se combinan con el calcio disponible en las conchas, logrando gelificar y fraguar eventualmente. Además la relación entre estos materiales se entiende como una formación por dependencia. En condiciones normales, la solución de alginato en agua no reacciona ni gelifica, pero al estar en presencia de las conchas lo hace. De la misma forma, las conchas necesitan de una matriz polimérica para aglomerarse en la formación de un material, imitando procesos que se realizan en la naturaleza, como ha sido mencionado anteriormente. En este sentido se establece una relación simbiótica, donde las especies (materiales) colaboran una con otra para hacer juntas lo que ninguna podría hacer por separado.

## **Análisis de proporción entre aglomerante y compuesto.**

La investigación propone analizar el material desde un enfoque biomimético en su totalidad. Según Meyers et al., (2008) las estructuras materiales en la naturaleza responden a su función según el contexto en el cual se desenvuelven. Por ejemplo, los huesos sirven de soporte para el cuerpo y facilitan la formación de células de sangre. Por el otro lado los exoesqueletos en los artrópodos permiten la fijación de los músculos como también los ayudan a protegerse de amenazas medioambientales (Meyers, Chen, Lin, & Seki, 2008). En base a esto se entiende que el material debe analizarse en su totalidad para poder determinar su función en determinados contextos para su transferencia y así comprender la relación entre alginato y polvillo de conchas. De esta manera se estudia cómo afectaría la concentración de solución de alginato en una misma cantidad de concha. En base a esto se pueden desprender resultados distintos pero no erróneos, ya que el material está sujeto al propósito que el artista o el diseñador le quiera dar. Para el desarrollo de este experimento se realizaron tablas comparativas por material para así obtener la mayor información posible de sus propiedades. Esto considera el peso inicial de cada ingrediente

y de cada probeta, la observación y descripción de cada mezcla, el tiempo de secado y un posterior análisis en cuanto a las dimensiones finales y la masa perdida. Además se analiza cada material según una caracterización sensorial, una caracterización técnica (si su homogeneidad lo permite) en cuanto a la resistencia a la compresión y densidad real, y un análisis de post mecanizado, grado de aislación, e interacción con llama directa, lijado y agua.

## E.Nº3

# Alginato vs CaCO<sub>3</sub>

## 1:0,9 ml

---

### TÍTULO DEL EXPERIMENTO

---

Caracterización de material biocompuesto utilizando CaCO<sub>3</sub> de mejillón *mytilus shilensis* y alginato (procesado) de alga.

---

### OBJETIVO DEL EXPERIMENTO

---

Comprender la relación entre alginato y Carbonato de Calcio de mejillón en relación a su pérdida de agua y resistencia a la compresión.

---

### HIPÓTESIS EXPERIMENTO

---

A mayor % de solución de alginato, mayor es la resistencia a la compresión y densidad del material resultante.

---

### VARIABLES A MANIPULAR

---

Solución de alginato  
[gramos x 100 ml de agua]:  
- 1%  
- 2,5%  
- 5%  
- 7,5%  
- 10%

---

### VARIABLES CONTROLADAS

---

- Probeta  
- Condiciones ambientales (luz, temperatura, humedad)  
- Secado en Deshidratadora (50°C)  
- Granulometría, gramaje y volumen de *Mytilus Shilensis* molida.  
- Proporción volumen alginato vs CaCO<sub>3</sub> (1:1)[ml]

---

### VARIABLES A MEDIR

---

Pérdida de agua y resistencia a la compresión.

---

### DESCRIPCIÓN DE LA PROBETA

---

cubo de 30 x 30 x 30 mm

---

### N (MUESTRA)

---

3 por cada solución de alginato

---

### RESULTADOS A ANALIZAR:

---

- Peso del compuesto  
- Medición de la muestra [mm]  
- Análisis de resistencia a la compresión [si la muestra es homogénea]



FIG. 79  
MATRIZ EXPERIMENTAL  
ELABORACIÓN PROPIA

RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN



SOLUCIÓN AL 1%

ALTURA PERDIDA: 83%

MASA PERDIDA: 90%

Compuesto no apto para ser conformar un material. El porcentaje de alginato en la mezcla no es lo suficiente para aglomerar el compuesto, por ende sólo se logra aglomerar 2 - 4 mm de la solución.



SOLUCIÓN AL 2,5%

ALTURA PERDIDA: 50%

MASA PERDIDA: 54%

Compuesto apto para conformar un material pero no es tan controlado. Ocurre una separación de granulometría del material. El inferior presenta alta porosidad y no se desmorona fácil, es más, se ve bien resistente a la compresión. El superior presenta baja granulometría del material y menos porosidad. Quizás la deformación ocurre por la exposición a temperatura en la deshidratadora.



SOLUCIÓN AL 5%

ALTURA PERDIDA: 33%

MASA PERDIDA: 57%

El resultado es una mezcla con bastante resistencia a la compresión. Sin embargo, le cuesta mantener la forma del molde al pasar 1 día en la deshidratadora por lo que al desmoldarlo está muy líquido y se seca "derretido". Se cree que puede ser una mezcla buena para extruir.

POST-ANÁLISIS

PARA TODAS LAS MUESTRAS

LIJADO: SE DESMORONA

LLAMA: SE QUEMA Y DESPRENDE

CAÍDA LIBRE: DESPEDAZA ENTERO

DISOLUCIÓN EN AGUA: INMEDIATO

LIJADO: SE DESPRENDE GRANO MAYOR

LLAMA: SE QUEMA Y DESPRENDE

CAÍDA LIBRE: MANTIENE FORMA, SE DESPRENDEN ALGUNOS GRÁNULOS

DISOLUCIÓN EN AGUA: INMEDIATO

LIJADO: APTO

LLAMA: SE QUEMA SIN DESPRENDERSE

CAÍDA LIBRE: MANTIENE FORMA, SE DESPRENDEN ALGUNOS GRÁNULOS

DISOLUCIÓN EN AGUA: JALEOSO

REGISTRO DE LIJADO:



OBSERVACIONES

Al lijar las muestras, se desprende material de su interior. Esto presenta un problema ya que el material no se logra aglomerar en su totalidad. Se plantean diversas hipótesis de lo que pudo haber pasado y se propone, para las próximas experimentaciones, aumentar el volumen de concha en relación al volumen de solución de alginato.



### SOLUCIÓN AL 7,5%

**ALTURA PERDIDA: 23%**

**MASA PERDIDA: 54%**

Buena mezcla para moldes. Adapta la forma del molde luego de un día en la deshidratadora. Alta resolución horizontal. Reducción de casi 1 cm en lo vertical (gravedad).



### SOLUCIÓN AL 10%

**ALTURA PERDIDA: 23%**

**MASA PERDIDA: 53%**

Este compuesto es tan saturado en alginato que para moldes no sirve (quedan vacíos interiores). Presenta buena resistencia a la compresión. Sin embargo podría ser una mezcla buena para moldear a mano.

### CONSIDERACIONES GENERALES

**DIMENSIÓN PROBETA: 30 MM<sup>3</sup> / 27 ML**

**VOLUMEN ALGINATO /CONCHA: 1/0,9 ML**

**SECADO A 50°C EN DESHIDRATADORA**

**PH MUESTRAS: 8-9**

**N MUESTRAS: 3 POR CADA % ALGINATO**

### CONCLUSIONES GENERALES

En general, esta experimentación no dió buenos resultados en cuanto a la resolución de la muestra en base al molde cúbico. La mayoría de las probetas presentan una deformación o vacíos en su interior por lo que no lo hacen un material controlado. Si bien la hipótesis es comprobada, aún es necesario controlar mejor la receta. Es por esto que se plantea una nueva matriz experimental, manteniendo los porcentajes de las soluciones de alginato y aumentando la proporción entre el volumen de conchas y estas.

**PARA VER TABLAS DE EXPERIMENTACIÓN Y DETALLES, REVISAR EL LINK**

<https://bit.ly/2SEXq3n>

### POST-ANÁLISIS

PARA TODAS LAS MUESTRAS

**LIJADO: APTO**

**LLAMA: SE QUEMA SIN DESPRENDERSE**

**CAÍDA LIBRE: MANTIENE FORMA, NO SE DESPRENDE MATERIA**

**DISOLUCIÓN EN AGUA: JALEOSO**

**LIJADO: APTO**

**LLAMA: SE QUEMA SIN DESPRENDERSE**

**CAÍDA LIBRE: MANTIENE FORMA, NO SE DESPRENDE MATERIA**

**DISOLUCIÓN EN AGUA: JALEOSO**

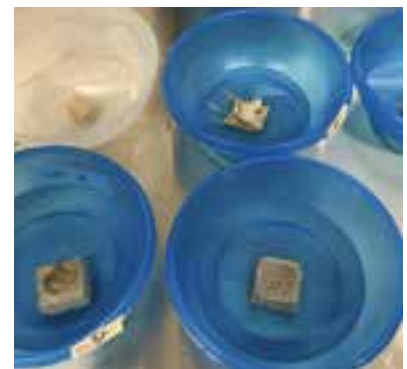
**REGISTRO DE TESTEO A LA COMPRESIÓN:**



**REGISTRO DE LLAMA DIRECTA:**



**REGISTRO EN AGUA:**



# E.Nº4

## Alginato vs CaCO<sub>3</sub>

### 1:2 ml / 1:3 ml / 1:4 ml

#### INVESTIGADORAS

ANTONIA VALENCIA &  
CAROLINA PACHECO

#### TÍTULO DEL EXPERIMENTO

Caracterización de material biocompuesto utilizando CaCO<sub>3</sub> de mejillón *mytilus shilensis* y alginato (procesado) de alga.

#### OBJETIVO DEL EXPERIMENTO

Determinar la cantidad adecuada de *Mytilus* procesado en la producción de un material en base a una solución constante de alginato

#### HIPÓTESIS EXPERIMENTO

A mayor % de CaCO<sub>3</sub>, mayor es la homogeneidad del material compuesto

#### VARIABLES A MANIPULAR

Proporción alginato vs CaCO<sub>3</sub> (ml)  
- 1:2 (ml)  
- 1:3 (ml)  
- 1:4 (ml)

#### VARIABLES CONTROLADAS

- Probeta  
- Condiciones ambientales (luz, temperatura, humedad)  
- Secado en Deshidratadora (35°C)  
- Granulometría, gramaje y volumen de *Mytilus Shilensis* molida.  
- Soluciones de alginato al 1 %, 2,5%, 5%, 7,5% y 10%

#### VARIABLES A MEDIR

Homogeneidad y resolución al molde del volumen de la probeta al secarse.

#### DESCRIPCIÓN DE LA PROBETA

culo de 30 x 30 x 30 mm

#### N (MUESTRA)

3 por cada solución de alginato

#### RESULTADOS A ANALIZAR:

- Peso del compuesto  
- Medición de la muestra [mm]  
- Análisis de homogeneidad interna

#### FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

La cuarta etapa de experimentación se realiza para establecer una caracterización completa del material y sus posibles variantes de diseño. Para ello se realiza una matriz cruzada entre la proporción entre conchas y solución de alginato. Para el mayor control y sistematización del proceso, se realizan moldes en acrílico cortados en láser para que cada probeta fuera exactamente igual. Al igual que el experimento anterior se analiza cada muestra según su pérdida de volumen y humedad, y análisis de las dimensiones y resolución al molde. Si bien, en un principio se busca encontrar la receta con mayor resolución y más homogénea para moldes, el proceso de experimentación, desprende el análisis de los materiales y su posible uso en otros escenarios de fabricación. La observación de las mezclas permitió determinar otras recetas para su reproducción en tres escenarios de fabricación: para moldes, para extruir y para moldear a mano. Además se logra entender las lógicas de relación entre ambos ingredientes.

#### CONCLUSIONES GENERALES

Entre mayor concentración de sustrato (*mytilus* o CaCO<sub>3</sub>) la muestra presenta mayor rigidez y mayor resolución de la forma. Por consecuencia, se cree que tienen más tolerancia a la compresión. Sin embargo debe haber un equilibrio entre la cantidad de concha utilizada y la solución de alginato en la mezcla. Ya que, si bien las muestras con más concha presentan mayor rigidez y resistencia a la compresión, en la mezcla tiende a desprenderse el material y no es muy fácil de trabajarlo. Finalmente se entiende que no hay una solución de alginato que sea la más adecuada (2,5%, 5%, 7,5% o 10%), si no que es un manejo adecuado entre las proporciones de concha y alginato lo que determina el comportamiento del material.

# Resumen

## Experimentos

Para el desarrollo de los experimentos y trabajo con alginato se consultó con el Profesor Sergio Benavides, Ingeniero Químico en Alimentos de la Pontificia Universidad Católica.

Todos los experimentos fueron realizados en el laboratorio de Biofabricación FADEU y con asistencia de Antonia Valencia, estudiante de diseño y alumna en práctica.

Además se consultó bibliografía con el profesor Renán Peña quien se especializa en el estudio de moluscos.

	ESTADO	DESCRIPCIÓN MEZCLA	RESULTADOS
(1:2)	1%	✓ MEZCLA HÚMEDA Y RÁPIDA DE MEZCLAR	PIERDE VOLÚMEN Y FORMA
	2,5%	✓ MEZCLA HÚMEDA PERO CON GRUMOS	PIERDE UN POCO EL VOLÚMEN Y FORMA
	5%	✓ MEZCLA CON GRUMOS Y DIFÍCIL DE UNIFICAR	PIERDE VOLÚMEN Y FORMA
	7,5%	✓ MEZCLA MOLDEABLE EN UNA BOLA	MANTIENE VOLÚMEN Y FORMA
	10%	✗ MEZCLA SOBRESATURADA	MEZCLA SOBRESATURADA
(1:3)	1%	✓ MEZCLA HOMOGÉNEA Y COMPACTA	MANTIENE FORMA PERO SE DESMORONA
	2,5%	✓ MEZCLA MUY SECA Y SEPARADA	MANTIENE FORMA PERO SE DESMORONA
	5%	✓ MEZCLA MUY SECA Y DIFÍCIL DE UNIFICAR	MANTIENE FORMA PERO SE AGRIETA
	7,5%	✗ MEZCLA SOBRESATURADA	MEZCLA SOBRESATURADA
	10%	✗ MEZCLA SOBRESATURADA	MEZCLA SOBRESATURADA
(1:4)	1%	✓ MEZCLA CON MUCHOS GRUMOS Y DIFÍCIL DE UNIFICAR	MANTIENE FORMA
	2,5%	✓ MEZCLA MUY SECA Y SE METE A PRESIÓN AL MOLDE	MANTIENE FORMA
	5%	✓ MEZCLA MUY SECA Y SE METE A PRESIÓN AL MOLDE	MANTIENE FORMA
	7,5%	✗ MEZCLA SOBRESATURADA	MEZCLA SOBRESATURADA
	10%	✗ MEZCLA SOBRESATURADA	MEZCLA SOBRESATURADA

PARA VER TABLAS DE EXPERIMENTACIÓN Y DETALLES, REVISAR EL LINK

<https://bit.ly/2SEXq3n>

# Workshop experimental en bioplásticos y biocompuestos

---

**PROFESORES:** *CAROLINA PACHECO*  
*VALENTINA MARQUEZ*

---

---

**COORDINACIÓN:** *RUTH ACOSTA*  
*RICARDO GRAU*

---

---

**REGISTRO:** *ANTONIA VALENCIA*  
*DAVID ACKERSON*

---

---

**Nº DE ALUMNOS:** *12*

---

---

**DÍAS:** *SÁBADO 11 DE MAYO*  
*SÁBADO 18 DE MAYO*  
*SÁBADO 25 DE MAYO*

---

---

**DURACIÓN:** *3 DÍAS (9:30 - 13:30 HRS.)*

---

---

**LUGAR:** *FABLAB SANTIAGO*

---

Uno de los objetivos del proyecto es establecer un puente entre las tecnologías de biofabricación y la comunidad de creativos. Este punto fue desarrollado en los primeros talleres en los que fui parte como voluntaria y facilitadora. Sin embargo, en el mes de mayo se me presentó la oportunidad de dictar mi propio workshop de biomateriales en el FabLab Santiago, junto a Valentina Marquez (alumna de diseño, quien también está involucrada en un proyecto de bioplásticos). Sin embargo, este taller consideraba 3 sesiones de 3 horas de duración y con un máximo de 15 alumnos sólo entre las dos facilitadoras. Es decir, una jornada mucho mayor a lo que había experimentado previamente con los Laboratorios

de Biofabricación, quienes tampoco habían realizado con anterioridad un workshop de estas características en biocompuestos. En base a esto, junto a Valentina, diseñamos las sesiones para transferir el conocimiento de la forma más clara posible a personas que nunca antes se habían enfrentado a un proyecto de biomateriales. Para ello establecimos una pauta para el contenido teórico, las presentaciones, los trabajos experimentales y los materiales e insumos necesarios para el taller.





FIG. 80  
REGISTRO DEL PRIMER  
DÍA DEL WORKSHOP

FOTOS: ANTONIA VALENCIA



FIG. 81 - 87

REGISTRO DE LAS ACTIVIDADES DEL WORKSHOP  
FOTOS: ANTONIA VALENCIA & DAVID ACKERSON

## Alumnos

La convocatoria era abierta a cualquier persona, rango etario, experiencia y profesión. Por lo que se inscribieron 12 personas, de las cuales 2 eran estudiantes de Ingeniería Civil, 1 profesional de Ingeniería Comercial, 4 estudiantes de Diseño en proceso de titulación, 1 mujer mayor, Florista y Artista, 1 profesora de Diseño, 2 Diseñadores de profesión y 1 Arquitecto.

Definitivamente en el grupo predominaban las carreras creativas, sin embargo, cabe destacar que este tipo de talleres no discrimina el interés por parte de otras disciplinas. La mayoría de los asistentes declararon que su participación en el workshop era para poder ejercer prácticas de diseño más sustentables, aplicar los materiales en sus proyectos de diseño personales o porque simplemente estaban curiosos de aprender un poco de este mundo.

Estas actividades permiten definir el usuario del proyecto y determinar que definitivamente hay varios grupos de personas interesados en aprender sobre estas temáticas.

## Cronograma

La ventaja de que el taller tuviera tres días de duración, es que podíamos profundizar más en cada tema. En base a esto, nos dividimos las presentaciones con Valentina y yo me encargué de tratar la materia relacionada con mi investigación, es decir la biomímesis como aproximación proyectual a partir de entender las soluciones que componen los materiales en la naturaleza y los biomateriales compuestos.

Para generar una continuidad en los alumnos, les dimos un encargo al final de la primera clase. Debían formar grupos de a tres e investigar un compuesto que les asignamos. En la próxima clase debían presentar a sus compañeros su investigación y luego en las dos siguientes sesiones harían experimentaciones con este. De esta forma a un grupo le tocó trabajar con conchas de chorito, otro con cáscara de huevos, otro con borra de café y el último con aserrín.

La estrategia del taller era poder documentar el interés de las personas al trabajar con biomateriales y poder testear, de forma más particular, el trabajo con conchas de choritos a partir de la caracterización sensorial extraída del Método: Material Driven Design.

## DÍA 1: INTRODUCCIÓN

### TEÓRICO:

- BIOMÍMESIS - BIOFABRICACIÓN - BIOMATERIALES
- SUSTENTABILIDAD - ECONOMÍA CIRCULAR

### PRÁCTICO:

- TRABAJO CON BIOPLÁSTICOS
- AGLOMERANTES NATURALES

### ENCARGO:

INVESTIGAR UN RESIDUO MATERIAL



## DÍA 2: BIOCOMPUESTOS

### TEÓRICO:

- MATERIALES BIOLÓGICOS
  - BIOCOMPUESTOS
  - PRESENTACIONES ALUMNOS:
1. BORRA DE CAFÉ
  2. CONCHAS
  3. ASERRÍN
  4. CÁSCARA DE HUEVOS

### PRÁCTICO:

- EXPERIMENTACIÓN CON BIOCOMPUESTOS EN GRUPOS



## DÍA 3: REGISTRO Y CARACTERIZACIÓN

### TEÓRICO:

- MATERIAL DRIVEN DESIGN

### PRÁCTICO:

- MATERIAL TINKERING
- CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL SEGÚN MÉTODO MATERIAL DRIVEN





FIG. 88 & 89  
TRABAJO CON MATERIAL CALCÁREO EN EL TALLER



## Validación del material

En el último día del taller los alumnos caracterizaron su material para así obtener la mayor información posible en cuanto a sus propiedades para ser utilizado en aplicaciones de diseño. En base a esto, se les pidió rellenar una tabla con preguntas y clasificaciones según la metodología de material driven design. Esto les permitió acercarse a posibles aplicaciones del material al reconocer sus propiedades y ventajas. Si bien el taller estaba compuesto por 12 alumnos, 3 personas pudieron trabajar con el material en base a conchas. A ellos se les compartió las recetas trabajadas con alginato y agar, pero se les permitió explorar con los ingredientes para poder desarrollar nuevas experimentaciones o propuestas de diseño.

---

PARA REVISAR LAS TABLAS RELLENAS POR LOS ALUMNOS  
REVISAR EL SIGUIENTE LINK

<https://bit.ly/2JTwxJ>

---

## Resultados y Evaluación del taller

La realización del workshop en biomateriales fue muy útil para el proyecto. Por un lado, el poder evidenciar el interés en las personas de involucrarse en estos temas y la curiosidad que emerge de ellos es muy alentador. Esto valida la hipótesis de que hay personas interesadas en aprender sobre los biomateriales y que están dispuestos a pagar por ello. Por el otro lado, valida la metodología propuesta para un taller de biomateriales y nos permite adecuar los contenidos como también mejorar los ejercicios prácticos

Además de ser una forma de transmitir el conocimiento a creativos interesados en implementar estas prácticas, los talleres potencian la red de colaboración y de información compartida. Hemos mantenido el contacto con los alumnos quienes han compartido otras convocatorias como exposiciones o workshops con temas relacionados y manifestado sus ganas de seguir experimentando. También nos han contactado para volver a realizar el taller en la Universidad de Santa María en Valparaíso y en la Escuela de Diseño de la UTEM, por lo que permite la proyección del proyecto en otras instancias educacionales.

## Evaluación del taller

PREGUNTAS	ABSOLUTAMENTE DE ACUERDO	MUY DE ACUERDO	DE ACUERDO	EN DESACUERDO	TOTALMENTE EN DESACUERDO
¿Se cumplieron mis expectativas del taller?	57,1%	28,6%	14,3%	-	-
El balance entre presentaciones y actividades prácticas fue adecuado; las actividades me ayudaron a comprender el material y facilitaron mi proceso de aprendizaje.	57,1%	28,6%	14,3%	-	-
Los implementos de trabajo (materia prima, instrumentos de medición, moldes, etc..) fueron suficientes y de calidad.	14,3%	42,9%	28,6%	14,3%	-
Creo que los contenidos de aprendizaje son aplicables en mis proyectos actuales y futuros.	57,1%	28,6%	14,3%	-	-
Disfruté de la experiencia	85,7%	14,3%	-	-	-
Le recomendaría este programa a otros	85,7%	14,3%	-	-	-

### COMENTARIOS SOBRE LA ACTIVIDAD EN GENERAL

"Muy buen Workshop, seria ideal que pudiesen hacer la continuación, algo un poco mas avanzado, ya con la intención de poder diseñar un producto en concreto."

"El único alcance que podría hacer es que quizás clases mas extensas o una clase más habría sido ideal."

"Me gustó mucho, fue mi primer acercamiento a los biomateriales y quedé super entusiasmada porque las actividades me permitieron ver que es posible y que es también territorio de diseño, no solamente ciencias."

"Muy bueno el taller muy buena disposición del grupo... importante que sigan difundiendo estos conocimientos."

"Comprometidas y motivadas!"

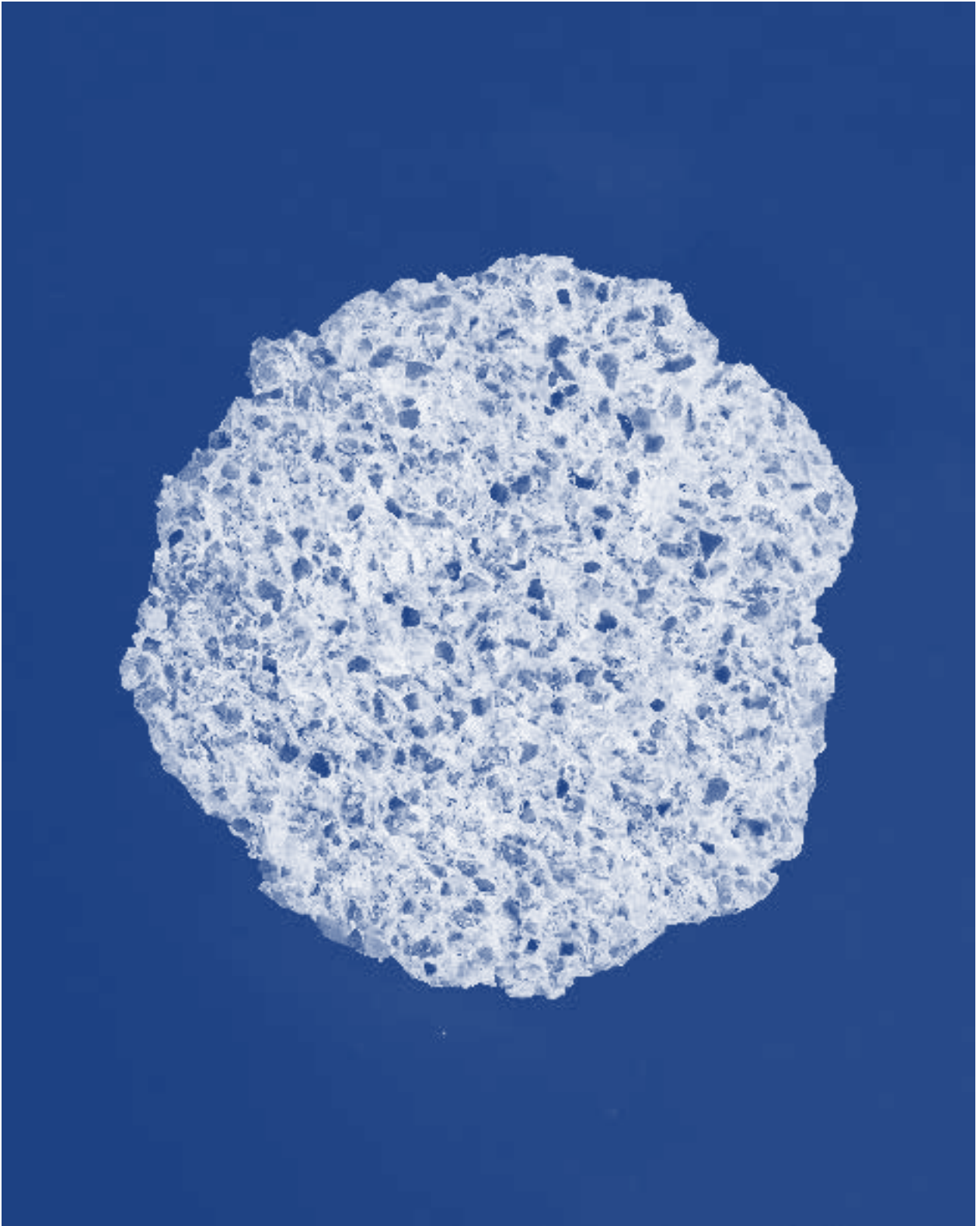
"Muy bien complementado el contenido teórico y experimental, y también las referencias que nos van a servir mucho para seguir investigando."

"Exelente trabajo, bien informado"

PARA REVISAR LA EVALUACIÓN COMPLETA REVISAR EL LINK:

<https://bit.ly/2M4JdLW>

FIG. 90  
MUESTRA DE UNA DE LAS PR-  
MERAS EXPERIMENTACIONES  
CON EL MATERIAL  
-  
ELABORACIÓN PROPIA



# Metodología elaborada para el diseño de biomateria emergente.

## 1. Materiales Biológicos

### 1.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

AUTO-ORGANIZACIÓN   MULTIFUNCIONALIDAD   FORMACIÓN AMBIENTAL   AUTO-REPARACIÓN   ESTRUCTURA JERÁRQUICA

### 1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES EN LA NATURALEZA

CERÁMICOS

POLIMÉRICOS

ELASTÓMEROS

CELULARES

### 1.3 COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL

MINERAL INORGÁNICO

+

POLÍMERO ORGÁNICO

+

SOLVENTE / SOLUCIÓN

= MATERIAL BIOCMPUESTO

POLÍMERO ORGÁNICO

+

POLÍMERO ORGÁNICO

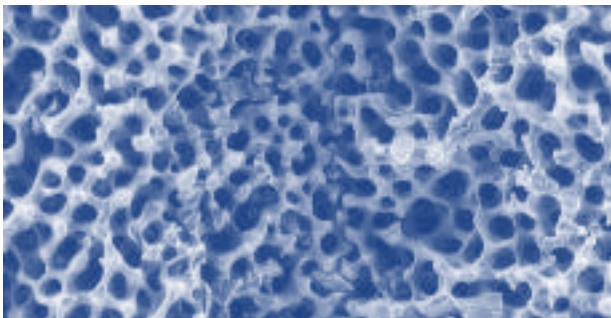


FIG. 91  
MATERIAL CERÁMICO O  
COMPOSITE CERÁMICO

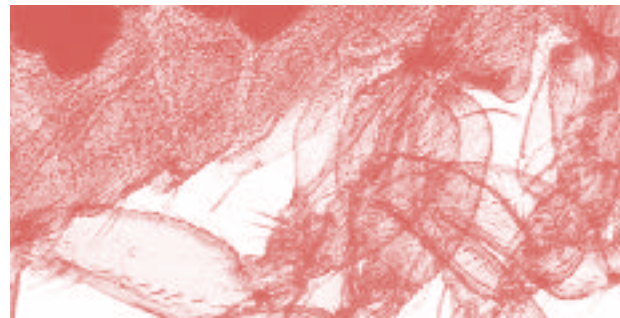


FIG. 92  
MATERIAL POLIMÉRICO O  
COMPOSITE POLIMÉRICO

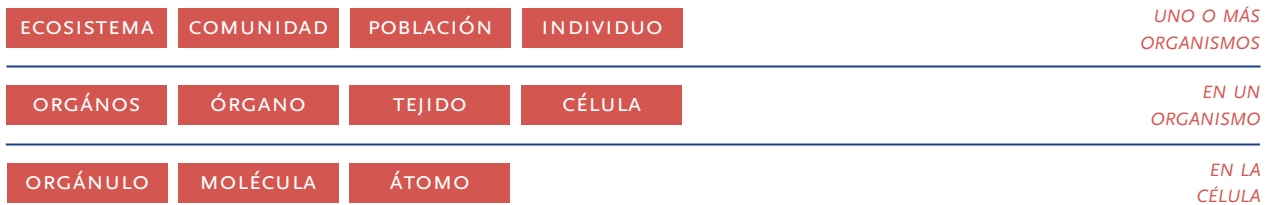


## 2. Aproximación a la materia emergente

### 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS



### 2.2 NIVELES DE ORGANIZACIÓN DE LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS



## 3. Profundización en el caso de estudio: Material Calcáreo

### 3.1 ECOSISTEMA MARINO



### 3.2 RECONOCIMIENTO DE ESPECIES MATERIALES

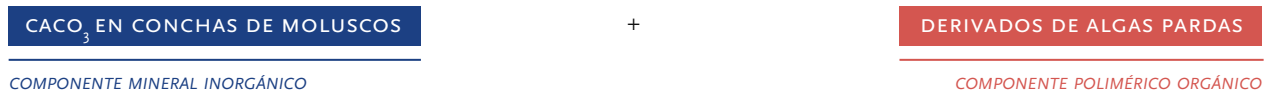


FIG. 93  
ELECCIÓN DE CONCHAS DE CHORITOS COMO MATERIA CALCÁREA A TRABAJAR PRINCIPALMENTE POR SU ABUNDANCIA Y FÁCIL ACCESIBILIDAD

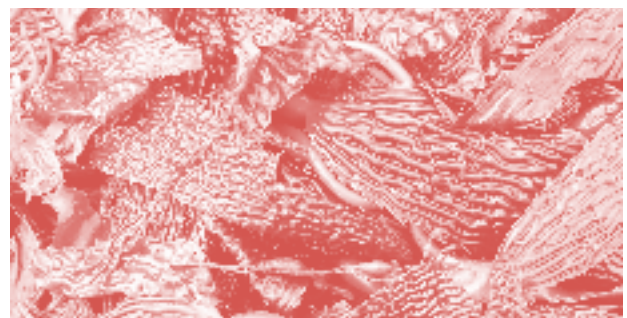
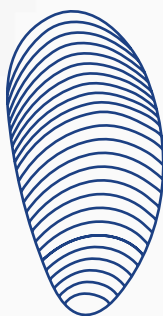


FIG. 94  
ELECCIÓN DE DERIVADOS DE ALGAS PARDAS COMO AGLOMERANTE DE BIOCOMPUESTO DEBIDO A SU GELIFICACIÓN EN PRESENCIA DE CALCIO

## Reconocimiento de especies materiales



### CHORITO

MYTILUS EDULIS  
CHILENSIS

SE ENCUENTRA DESDE EL  
CALLAO, PERÚ, AL ESTRECHO  
DE MAGALLANES, Y CANAL  
BEAGLE, CHILE.

### COMPOSICIÓN

96 - 97% DE CACO<sub>3</sub>  
4 % FASE ORGÁNICA



COMPOSICIÓN

10 - 40% ALGINATO  
60 - 90 % CELULOSA

COCHAYUYO

DURVILLAEA  
ANTARCTICA

ESPECIE UBICADA EN LAS  
COSTAS DEL PACÍFICO ESTE  
EN EL HEMISFERIO SUR.



## Obtención de sustancias y químicos naturales

### MATERIA PRIMA A PARTIR CONCHAS

*Se recomienda usar mascarilla para evitar aspirar el polvillo de carbonato de calcio que desprende la licuadora*

1. LAVADO

2. SECADO

3. MOLIDO CON MARTILLO

4. TAMIZADO DE PARTÍCULAS  
MÁS PEQUEÑAS

5. LICUAR DE  
A POCO



## ALGINATO

*Por el momento, el proyecto declara utilizar alginato procesado industrialmente por falta de acceso a la tecnología de extracción de alginatos de algas pardas. Este se puede comprar en Cherry Chile, Manuel montt, Santiago.*



## Entidades Materiales

### TONALIDADES DE $\text{CaCO}_3$

CONCHA HORNEADA

1/2 - 1/2

$\text{CaCO}_3$   
PROCÉSADO

1/2 - 1/2

CONCHA SIN HORNEAR



## SOLUCIONES DE ALGINATO

*El alginato en polvo se mezcla con agua destilada.  
El % significa que la solución tiene X gramos por cada 100 ml de agua*

1%      2,5%      5%      7,5%      10%



## Calcáreo, biomaterial simbionte y emergente

CONCHA DE MEJILLÓN MOLIDA

+

SOLUCIÓN DE ALGINATO

MEZCLAR AMBOS INGREDIENTES EN LA PROPORCIÓN ADECUADA, SEGÚN EL MATERIAL QUE SE QUIERA OBTENER (PARA MOLDES, MOLDEABLE O EXTRUIBLE)





## Medios de Fabricación

### MOLDES Y HERRAMIENTAS

*El proyecto pretende que la mayoría de los moldes y herramientas utilizados sean posibles de ser producidos por el usuario mediante el uso de tecnologías de código abierto*



## Ecosistemas para el proceso de producción

### EXPERIMENTACIÓN

---

PRUEBA CON DISTINTAS PROPORCIONES Y SOLUCIONES DE ALGINATO



1,5(AL2,5) - 3MY

1(AL7,5) - 1,5MY

1(AL5) - 1MY

RECETA PARA VERTIR EN MOLDES

RECETA PARA MOLDEAR A MANO

EXTRUIBLE EN JERINGA O EXTRUSORA



## 1,5(Al<sub>2</sub>,5) - 3My

MEZCLAR INGREDIENTES Y VERTIR EN MOLDE



**VOLUMEN ALTO** 150x40x40 MM

VOLUMEN PIEZA	232 CM <sup>3</sup>	PESO MEZCLA	468 GR	PESO SECO	387 GR
CaCO <sub>3</sub>	300 ML	SECADO	24 HRS APROX	% PERDIDO	18%
AL 2,5%	150 ML	MODO	DESHIDRATADORA 35°C	LIJADO	SI

## 1(Al7,5) - 1,5My

MEZCLAR INGREDIENTES Y MOLDEAR A MANO



**MOLDEABLE** 95x15x60 MM

VOLUMEN PIEZA	85 CM <sup>3</sup>	PESO MEZCLA	148 GR	PESO SECO	97GR
CACO <sub>3</sub>	150 ML	SECADO	12 HRS APROX	% PERDIDO	34%
AL 7,5%	75 ML	MODO	DESHIDRATADORA 35°C	LIJADO	SI

## 1(A15) - 1My

MEZCLAR INGREDIENTES, PONER EN JERINGA Y EXTRUIR EL CONTENIDO



**EXTRUIBLE** 85x135x4 MM

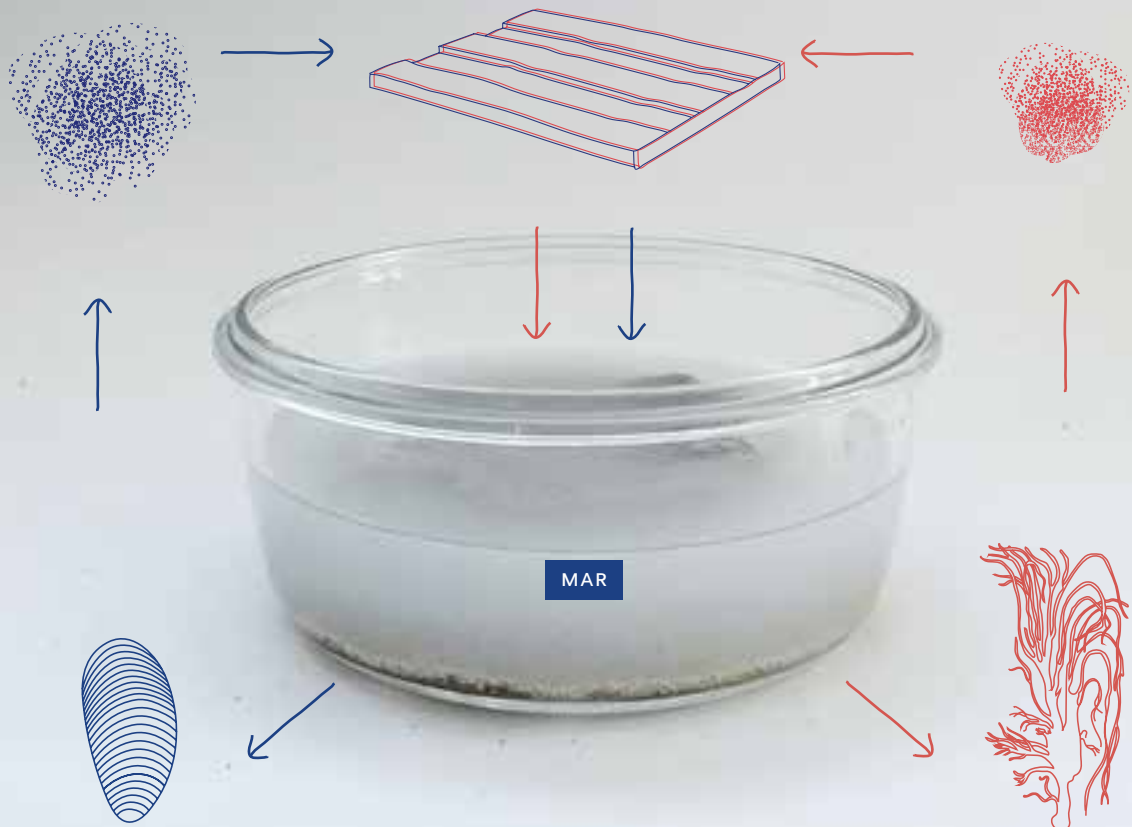
VOLUMEN PIEZA	-	PESO MEZCLA	45 GR	PESO SECO	27 GR
CACO <sub>3</sub>	100 ML	SECADO	5 HRS APROX	% PERDIDO	40%
AL 5%	100 ML	MODO	DESHIDRATADORA 35°C	LIJADO	-

# Ciclo de vida de materiales calcáreos

DEVOLUCIÓN AL ORIGEN MARINO

PRODUCCIÓN DEL MATERIAL

OBTENCIÓN DE MATERIAS PRIMAS



DISEÑADO PARA DESAPARECER

AL CONTACTO CON EL AGUA EL MATERIAL SE COMIENZA A DESINTEGRAR

*I think the 20th century was dominated by a mindset which was driven by proprietary ownership, not just materials, but ideas- intellectual property. We need to move to free and open source design so that we have shared standards, knowledge, governance in the commons. So that, indeed we can have a network that connects. When I talk to 21st century urban designers, product designers, enlightened corporate leaders, social startups... They are asking a completely different question: How many benefits can we layer into the way that we design this? What could this enterprise do for the community, for culture, for the living world? What can it give back? Because we recognize we are part of a system of mutuality. And that's this utterly different place, where the business design comes from. I think we are moving from extractive to generative in the way we design what businesses can be and do in the world. It's painful. Especially if you are in one's business that's trying to make that change. But this is the drama of our times, and of course it is also, the adventure of our times.*

KATE RAWORTH, ECONOMISTA,  
DOCUMENTAL SYSTEM RESET, 2018

FIG. 95  
REGISTRO DE WORKSHOP EN  
BIOMATERIALES  
-  
DAVID ACKERSON





DIVULGACIÓN Y TRANSFERENCIA

EXPLORACIÓN DE APLICACIONES

DOCUMENTACIÓN Y REGISTRO

PROYECCIONES

# Implementación y Proyecciones

## Obj1: Divulgación y transferencia del conocimiento material

### Workshop Calcáreo

En base a la experiencia de cada taller de experimentación en el que participé durante el desarrollo del proyecto pude notar lo didácticas que son las sesiones y como es un formato ideal para compartir técnicas de desarrollo para la experimentación material. No sólo porque se presenta la oportunidad de trabajar con la materia de forma práctica, si no también por el intercambio de información teórica necesaria de transmitir a los alumnos antes de empezar la experimentación. El diseño del workshop es una versión mejorada de las experiencias anteriores, en donde, en base a la evaluación del último taller me permitió diseñar una mejor dinámica y corregir ciertos aspectos. El workshop puede ser llevado a cabo en distintos contextos que cuenten con un espacio adecuado de trabajo. La convocatoria es abierta y con un costo fijo dependiendo el equipo de trabajo y la capacidad del lugar.

### Plataformas de Difusión: Materiom.org

Otro medio de transferencia para el desarrollo del material es a través de plataformas o redes sociales. Esto permite generar un mayor el alcance a creativos que estén interesados en utilizar el material para sus proyectos personales. Además reconoce que el uso de la materia prima tiene un alcance global, es decir es replicable en cualquier otro contexto en donde se tenga acceso a residuos de conchas de moluscos y derivados de algas como el alginato. Por el momento la mejor plataforma para distribuir el proceso de fabricación del material es Materiom. En base a esto se establece contacto con Alysia Garmulewicz, una de las fundadoras que actualmente se encuentra en Chile.

### Instagram

Actualmente instagram está siendo utilizado como plataforma de investigación en escenarios del diseño. En esta red social los diseñadores están aprovechando para desplegar sus portafolios y distribuir el conocimiento y estado del arte en diversos campos de aplicación. Es por esto que el proyecto cuenta con el desarrollo del instagram @cal.careo, un espacio para la visibilización y difusión de las prácticas de biofabricación y biomateriales para diseñadores.



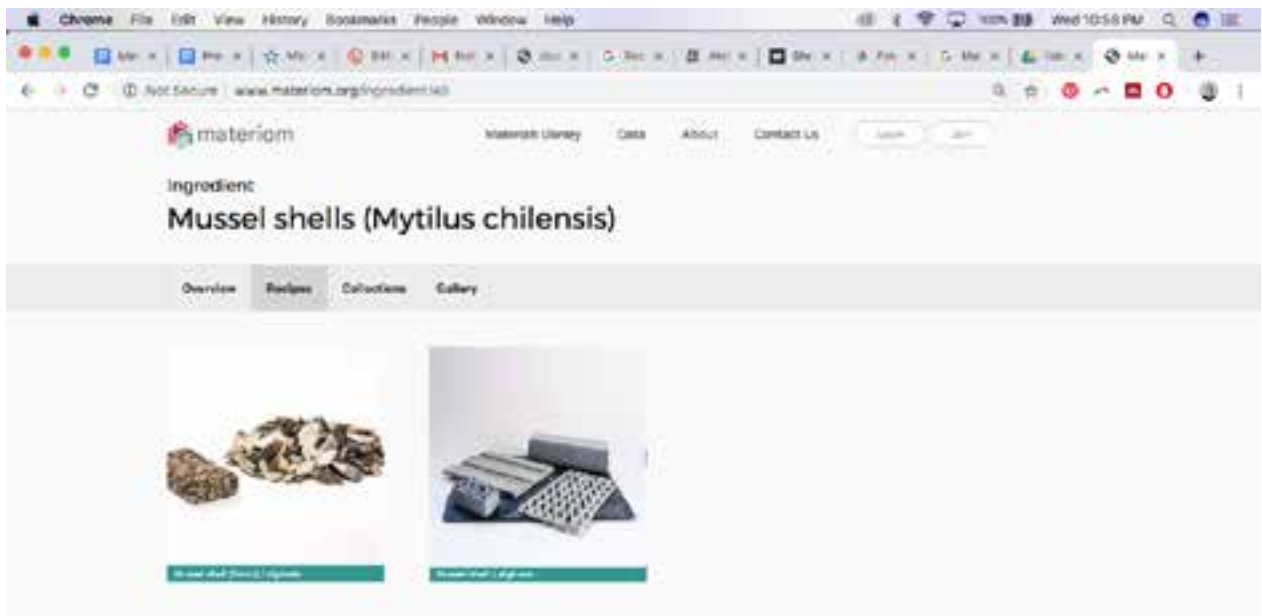


FIG. 96 Y 97  
DIFUSIÓN EN REDES SOCIALES  
Y EN LA PLATAFORMA DE  
BIOMATERIALES MATERIOM

## Obj2: Colaboración y exploración de aplicaciones

El proyecto pretende ser de carácter colaborativo y adaptarse a los procesos de fabricación de diseñadores o laboratorios de fabricación en donde se busque trabajar con materiales más amigables con el medio ambiente. Dentro de este objetivo se pretende el uso de un colaborador por tipo de materia calcárea. En el caso del material 1,5(A12,5) - 3My, para moldes, la colaboración se haría con el estudio de Diseño, Sistema Simple Studio, utilizando su moldaje del proyecto "Liquid Matrix" como medio de expresión para la materia. Para el material 1(A15) - 1My, moldeable, se trabajaría con la diseñadora Josefa Ballacey, diseñadora y artista de materiales cerámicos y moldeables. Finalmente con el material de extrusión 1,5(A12,5) - 3My, se probaría en el FabLab de la Universidad de Chile en donde cuentan con una máquina de impresión 3D para materiales cerámicos.



Participación en Conferencia Cumulus "The Design After" en la categoría "Biodiversity-Driven Design" con el paper de "Prototype of a self-sufficient biofabrication protocol for remote territories" realizado junto a Anibal Fuentes, Adriana Cabrera, Alejandro Weiss y María José Besoain.

ID 222



Postulación a Fondo de Cultura con el proyecto "Calcáreo. Sistema de fabricación de objetos a partir de la formación y autoensamblaje de cristales de Carbonato de Calcio." junto a Anibal Fuentes, Joaquín Rosas, Danica Peric y Fernán Federici.

FOLIO 531754

## Obj3: Documentación y registro de investigación

### Conferencias de Diseño

Otro medio para la divulgación y documentación de la investigación desarrollada para llevar a cabo Calcáreo, es mediante el desarrollo de papers y columnas en artículos de investigación. En el contexto de diseño esta práctica está siendo cada vez más adoptada como formato de transferencia. Algunas de las conferencias son EKSIG: Experiential Knowledge Special Interest Group, Cumulus y Biofabricate. En este ámbito un primer paper ya fue desarrollado junto a Anibal Fuentes, Adriana Cabrera, Alejandro Weiss y María José Besoain. En él se habla sobre un protocolo de biofabricación en territorios remotos donde se documenta además el trabajo con biomateriales hechos a partir de conchas recolectadas en el sector. Esta conferencia tendrá a cabo en Bogotá en noviembre de este año.

## Proyecciones

### Postulación a Fondart de Investigación

Como medio para continuar con la investigación y contar con fondos para hacerlo, postulamos a un Fondart Nacional. El caso comprende el análisis de mecanismos de cristalización del carbonato de calcio en la naturaleza para su síntesis y replicación en un sistema de fabricación para la generación de biomateriales, estructuras y objetos, con aplicaciones en el diseño industrial. Adicionalmente, el proyecto desarrollará las maquinarias, herramientas e instrumentos clave para hacer accesible la replicabilidad de los procesos de biofabricación desarrollados. Este hardware científico será de código abierto y bajo costo. Con el objetivo de democratizar las prácticas científicas, aumentando así la diversidad de gente con herramientas adecuadas para investigar y aprender. Además, el proyecto contempla un plan de difusión para diversos públicos, el que incluye exposiciones y talleres, así como participación en instancias académicas. El equipo de postulación me contempla como Directora del proyecto, Anibal Fuentes del Laboratorio de Biofabricación FADEU como Productor y Co-investigador, Danica Peric y Joaquín Rosas del FabLab de la Universidad de Chile como Co-Investigadores del Hardware Abierto y finalmente Fernán Federici del SymbioLab, como Asesor Biológico.

# Discusión

## Conclusión y Análisis

Calcáreo es la demostración empírica de que es posible un enfoque del diseño a partir de la materia que emerge y no a partir de resolver una problemática en específico. Esto principalmente por que la situación en la que nos encontramos, no necesita de una reiterada descripción para establecer nuestro estado de emergencia. El diseño y utilización de biomateriales como soporte de objetos y productos que utilizamos a diario es nuestro futuro inminente. Calcáreo, como caso de estudio, ejemplifica, el diseño a partir de procesos biomiméticos y con materiales de origen biológico. El material desarrollado busca ser utilizado en distintos escenarios de fabricación y bajo la autoría de aquellos que necesiten de su uso en cualquier aplicación de diseño. Vale mencionar que estos materiales no están diseñados para reemplazar aquellos de uso actual, si no más bien replantear el uso de materia efímera y con un tiempo de duración explícito para el uso que se le pretenda dar. Los biomateriales son parte del ciclo regenerativo de la naturaleza, desde su origen evolutivo hasta su devolución al medioambiente como nutrientes para el ecosistema.

Calcáreo es solo el comienzo de un sistema replicable para una infinidad de materiales emergentes de las sustancias abundantes y reproducibles biológicamente.

# Referencias

- Acevedo, H., & Guerra, R. (2005). Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana. Retrieved from [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111195/tesis\\_caliza.pdf?sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111195/tesis_caliza.pdf?sequence=1)
- Acuicultura, S. de P. y. (2018). INFORME SECTORIAL DE PESCA Y ACUICULTURA. Retrieved from [www.subpesca.cl](http://www.subpesca.cl)
- Al Omari, M. M. H., Rashid, I. S., Qinna, N. A., Jaber, A. M., & Badwan, A. A. (2016). Calcium Carbonate. Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology (Vol. 41). <https://doi.org/10.1016/bs.podrm.2015.11.003>
- Albert, A., Salvador, A., & Fiszman, S. (2012). A film of alginate plus salt as an edible susceptor in microwaveable food. *Food Hydrocolloids*, 27(2), 421–426. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.11.005>
- Aqua. (2018). Proyecto fomenta el uso de las conchas de mariscos como biomaterial. I+D. Retrieved from <http://www.aqua.cl/2018/01/19/proyecto-fomenta-el-uso-de-las-conchas-de-mariscos-como-biomaterial/>
- Arenas, F., Aliaga, G., Marchant, C., & Sanchez, R. (2005). El Espacio Geográfico Magallánico: Antecedentes acerca de su estructura y funcionamiento. Retrieved from [http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/222/Espacio/2005/Articulo\\_Arenas\\_et\\_al\\_Tiempoyespacio.pdf](http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/222/Espacio/2005/Articulo_Arenas_et_al_Tiempoyespacio.pdf)
- Ashby, M. F. (1992). *Materials selection in mechanical design*. Oxford: Pergamon.
- Ashby, M., & Johnson, K. (2002). *Materials and Design*.
- Ashby, M., Johnson, K., Boston, A., Heidelberg, S., London, P., San, P., ... Tokyo, S. (2002). *Materials and Design The Art and Science of Material Selection in Product Design Third Edition*. Retrieved from [www.books.elsevier.com](http://www.books.elsevier.com).
- Baqueiro, E., & Aldana Aranda, D. (1995). Mecanismo de formación de conchas de moluscos. Retrieved from [http://www.mda.cinvestav.mx/recmar/draaldana\\_cv/Mecanismo\\_de\\_formacion\\_de\\_conchas\\_de\\_moluscos\\_1995.pdf](http://www.mda.cinvestav.mx/recmar/draaldana_cv/Mecanismo_de_formacion_de_conchas_de_moluscos_1995.pdf)
- Bates, N. (2018). *Ocean Carbon Cycle. Surface Ocean-Lower Atmosphere Processes* (3rd ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1029/2008GM000780>
- Bernal, J., Fuentes Iza, F., & Rojo, D. (2015). Estalagmitas de la Isla Diego de Almagro, Patagonia chilena: Herramientas claves para el entendimiento del clima durante el Holoceno. Retrieved from [http://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/14905\\_v2\\_pp\\_841\\_844.pdf](http://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/14905_v2_pp_841_844.pdf)
- Brownwell, B. (2006). *Transmaterial: A Catalog of Materials That Redefine our Physical Environment*.
- Cabrera, A., Nebe, K., & Megill, W. M. (2018). *FabMaterials : A journey towards a tangible exploration of materials in prototyping*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1344486>
- Calafat, M. E. (1999). MATERIALES BIOLÓGICOS Y BIOMATERIALES. Retrieved from <http://www.rac.es/ficheros/doc/00330.pdf>
- Calvo, M. (2011). ALGINATO. Retrieved September 12, 2017, from <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/alginate.html>
- Camere, S., & Karana, E. (2017). Growing materials for product design. *EKSIG 2017: Alive. Active. Adaptive*, (1), 101–115. Retrieved from [https://static1.squarespace.com/static/576953f3beba5359bfb528/t/5975e891cd39c316492doe9c/1500899550482/EKSIG2017\\_Alive+Active+Adaptive\\_Proceedings\\_low+resolution2.pdf](https://static1.squarespace.com/static/576953f3beba5359bfb528/t/5975e891cd39c316492doe9c/1500899550482/EKSIG2017_Alive+Active+Adaptive_Proceedings_low+resolution2.pdf)
- Camere, S., & Karana, E. (2018). Fabricating materials from living organisms: An emerging design practice. *Journal of Cleaner Production*, 186, 570–584. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.081>
- Collet, C., & Gaskill, K. (2015). *BioSalon*. Retrieved from <http://www.arts.ac.uk/media/arts/colleges/csm/>

- csm-public/images/Biosalon.pdf
- Disruptive Innovation Festival - DIF. (2018 November 17). Abundant Materials and Universal Manufacturing: Future or Fiction?. [Video File]. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=IcKbuSnnBhA&t=1150s>
- Empereire, J. (1958). Los Nómades del Mar.
- Fab Foundation. (n.d.). Retrieved from <https://www.fabfoundation.org/>
- Fayemi, P. E., Wanieck, K., Zollfrank, C., Maranzana, N., & Aoussat, A. (2017). Biomimetics: process, tools and practice. *Bioinspiration & Biomimetics*, 12(1), 011002. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/12/1/011002>
- Franklin, K., & Till, C. (2018). Radical Matter: Rethinking materials for a sustainable future.
- Garcés, I. (2013). Calcita (CaCO<sub>3</sub>). Retrieved from <http://es.wikipedia.org/wiki/E>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Garmulewicz, A (2018) Open Materials for a circular economy. Materiom, Escuela de Diseño, Campus Lo Contador.
- Groover, M. P. (1996). Fundamentals of modern manufacturing materials, processes, and systems.
- Hamed, I. (2016). The Evolution and Versatility of Microalgal Biotechnology: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(6), 1104–1123. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12227>
- Huber, C. (2007). Biología marina.
- Kaplan, D. (1998). Biopolymers from renewable resources.
- 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* (Vol. 9). <https://doi.org/10.1080/00927872.2017.1392540>
- Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V. (2014). Materials Experience.
- Kirchman, D. L. (2001). Microbial Ecology of the Oceans.
- Laboratorio de Biofabricación FADEU. (n.d.). Retrieved from <http://biofab.cl/>
- Laboratorio de Biomateriales de Valdivia. (n.d.). Retrieved from <http://labva.org/>
- Labva: Biomateriales y materialidad cultural. (2019, May 01). Retrieved from <https://www.endemico.org/home-post/labva-biomateriales-materialidad-cultural/>
- Lefteri, C. (2003). Materials for Inspiration.
- Louise, A., Buur, J., Lonne, I. A., & Nimkulrat, N. (2015). Tangible Means, Experiential Knowledge through materials. Retrieved from [http://ualresearchonline.arts.ac.uk/8912/2/EKSIG2015\\_Proceedings.pdf](http://ualresearchonline.arts.ac.uk/8912/2/EKSIG2015_Proceedings.pdf)
- Mancilla, J., Profesor, M., José, G., & Titus, T. (2012). FACTIBILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE CARRAGENINA KAPPA I. Retrieved from [http://opac.pucv.cl/pucv\\_txt/txt-3000/UCF3108\\_01.pdf](http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-3000/UCF3108_01.pdf)
- Manzini, E. (1989). The material of invention. Milano: Arcadia Ed.
- Margulis, L., & Sagan, D. (1986). Microcosmos: Four Billion years of microbial evolution.
- Margulis, L., & Sagan, D. (2002). Captando Genomas. Retrieved from [www.librosmaravillosos.com](http://www.librosmaravillosos.com)
- Marin, F., Le Roy, N., & Marie, B. (2012). The formation and mineralization of mollusk shell. *Frontiers in Bioscience (Scholar Edition)*, 4(January 2012), 1099–1125. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22202112>

- Materiom. (n.d.). Retrieved from <https://materiom.org/>
- Meyers, Marc A, Lin, A. Y. M., Seki, Y., Chen, P., Kad, B. K., & Bodde, S. (2006). Structural Biological Composites, 35–41.
- Meyers, Marc André, Chen, P. Y., Lin, A. Y. M., & Seki, Y. (2008). Biological materials: Structure and mechanical properties. *Progress in Materials Science*, 53(1), 1–206. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2007.05.002>
- Mironov, V., Trusk, T., Kasyanov, V., Little, S., Swaja, R., & Markwald, R. (2009). Biofabrication: A 21st century manufacturing paradigm. *Biofabrication*, 1(2). <https://doi.org/10.1088/1758-5082/1/2/022001>
- Munn, C. B. (2011). *Marine microbiology: ecology and applications*. Bios Scientific Publishers. Retrieved from <https://www.crcpress.com/Marine-Microbiology-Ecology--Applications/Munn/p/book/9780815365174>
- Myers, W. (2012). BIO DESIGN, *Nature, Science, Creativity*. Retrieved from [https://www.moma.org/momaorg/shared//pdfs/docs/publication\\_pdf/3167/BioDesign\\_PREVIEW.pdf?1349967238](https://www.moma.org/momaorg/shared//pdfs/docs/publication_pdf/3167/BioDesign_PREVIEW.pdf?1349967238)
- Ojeda, J., Rozzi, R., Rosenfeld, S., Contadora, T., Massardo, F., Malebrán, J., ... Mansilla, A. (2018). Interacciones bioculturales del pueblo yagán con las macroalgas y moluscos: Una aproximación desde la filosofía ambiental de campo. *Magallania (Punta Arenas)*, 46(1), 155–181. <https://doi.org/10.4067/S0718-22442018000100155>
- Ondarza, M., & Rincones, R. (2008). *CienciaUAT*. *CienciaUAT*, 3(2). Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/4419/441942914009/>
- Osuna Mascaro Antonio Jose. (2015). Detección e Identificación De Componentes Orgánicos en Conchas de Moluscos.
- Oxman, N., & Rosenberg, J. L. (2010). Material-based Design Computation An Inquiry into Digital Simulation of Physical Material Properties as Design Generators *Material-based Design Computation An Inquiry into Digital Simulation of Physical, 05(01), 25–44*.
- 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>
- Pidwirny, M. (2012). Carbon Cycle. Retrieved November 23, 2018, from [https://editors.eol.org/eoearth/wiki/Carbon\\_cycle](https://editors.eol.org/eoearth/wiki/Carbon_cycle)
- Ramirez, M. E. (1991). Diversidad de especies, Algas Marinas Bentónicas. Retrieved from [http://www.mma.gob.cl/librobiodiversidad/1308/articles-45206\\_recurso\\_3.pdf](http://www.mma.gob.cl/librobiodiversidad/1308/articles-45206_recurso_3.pdf)
- Rao, V. K., Kumar, J. S. K., & Reddy, M. V. B. (2017). Determination of Calcium Content in Shells of Bivalves of Chippaleru Creek Andhra Pradesh. *Indian J.L.Sci.*, 6(1), 47–50.
- Rinaudo, M. (2008). Main properties and current applications of some polysaccharides as biomaterials. *Polymer International*, 57(3), 397–430. <https://doi.org/10.1002/pi.2378>
- Rognoli, V., Bianchini, M., Maffei, S., & Karana, E. (2015). DIY materials. *Materials & Design*, 86, 692–702. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.020>
- Rojas Cáceres, J. P. (2008). Estudio Mineralización de Carbonato de Calcio usando como matriz quitosano y mezclas de quitosano con polímeros sintéticos hidrosolubles. Retrieved from [http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2008/rojas\\_j/sources/rojas\\_j.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2008/rojas_j/sources/rojas_j.pdf)
- Sanchez, C., Arribart, H., & Guille, M. M. G. (2005). Biomimetism and bioinspiration as tools for the design of innovative materials and systems. *Nature Materials*, 4(4), 277–288. <https://doi.org/10.1038/nmat1339>
- Solanki, S. (2018). Why materials matter: Responsible



design for a better world. London: Prestel Publishing.

Soldevila, L. M., & Oxman, N. (2015). Water-based Engineering & Fabrication: Large-Scale Additive Manufacturing of Biomaterials. Retrieved from <http://www.mrs.org/spring-2015-call-for-papers-nn/>

Torre, S. De, Castañeda, C., Calle, L., & Anaya, F. (2009). Cuantificación de  $\gamma$ -carragenanos a partir de la macroalga *Chondracanthus chamissoi*. *Revista Sociedad Química Del Perú*, 75(4), 414–421.

Tostoes, A. (2018). Louis I. Kahn The Permanence

Uriarte, I. (2008). Estado actual del cultivo de moluscos bivalvos en Chile. Retrieved from <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/011/i0444s/i0444s04.pdf>

Villalobos, A., Calderón, L., Figueroa, C., Fierro, J., Otálora, G., & Álvarez, R. (2007). Evaluation for ecometric method of agar, 57–65.

VIncent, J. F. . (1982). Structural biomaterials. *Mathematical Biosciences* (Vol. 68). [https://doi.org/10.1016/0025-5564\(84\)90080-4](https://doi.org/10.1016/0025-5564(84)90080-4)

Vincent, J. F. V., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A., & Pahl, A. K. (2006). Biomimetics: Its practice and theory. *Journal of the Royal Society Interface*, 3(9), 471–482. <https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0127>

Webster, C. (Director). (2018, November 15). System Reset[Video file]. Retrieved from [https://www.youtube.com/watch?v=\\_Wyo7u-1IBE&t=2s](https://www.youtube.com/watch?v=_Wyo7u-1IBE&t=2s)

Wegst, U. G K, & Ashby, M. F. (2004). The mechanical efficiency of natural materials. *Philosophical Magazine*, 84(21), 2167–2181. <https://doi.org/10.1080/14786430410001680935>

Wegst, Ulrike G.K., Bai, H., Saiz, E., Tomsia, A. P., & Ritchie, R. O. (2014). Bioinspired structural materials. *Nature Materials*, 14(1), 23–36. <https://doi.org/10.1038/nmat4089>

Xiang, J., Cao, H., Warner, J. H., & Watt, A. A. R. (2008). Crystallization and Self-Assembly of Calcium

Carbonate Architectures. *Crystal Growth & Design*, 8(12), 4583–4588. <https://doi.org/10.1021/cg8006553>

