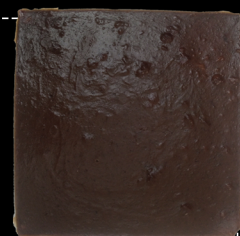
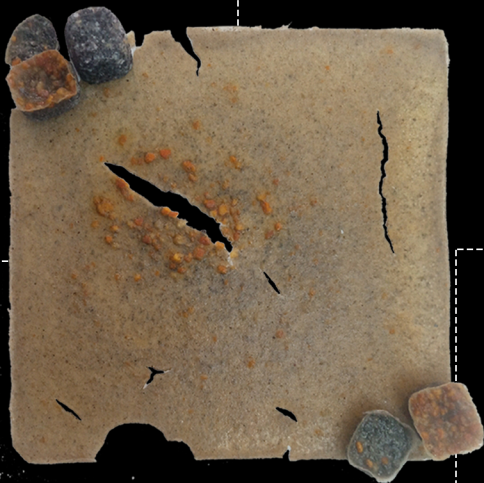


# ¡NO TIRAR!

El biorresiduo como futuro de la innovación arquitectónica



Paula Estefanía Tamayo



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA



TRABAJO FIN DE GRADO

**Paula Estefanía Tamayo**

***¡NO TIRAR!***

***El biorresiduo como futuro de la innovación arquitectónica***



**¡NO TIRAR!**

**El biorresiduo como futuro de la innovación arquitectónica**

*Estudiante:*

PAULA ESTEFANÍA TAMAYO

*Tutora:*

Ángela Ruiz Plaza

*Aula TFG 3:*

Coordinadora: Silvia Canosa Benítez

Adjunta: Isabel de Cárdenas Maestre

*Fecha de entrega:*

Junio 2023



# ÍNDICE:

0. Resumen y palabras clave
1. Introducción:
  - a. Motivación
  - b. Objetivos
  - c. Metodología
2. Glosario
3. Bloque 1. Marco teórico:
  - a. Contexto
  - b. Tradición e innovación en bioarquitectura
  - c. Estado del arte de la innovación
4. Bloque 2. Marco práctico:
  - a. Análisis: Catálogo comparativo de biorresiduos
  - b. Hipótesis: Estudio de biomateriales en laboratorio
5. Conclusiones
6. Bibliografía
7. Ilustraciones



## **0. RESUMEN:**

¿Cómo es el futuro de la arquitectura? ¿Puede estar inspirada o formar parte de la naturaleza? ¿Con qué se puede hacer arquitectura? ¿Puede su identidad material ser orgánica? ¿Se pueden utilizar biorresiduos con este fin?

El presente trabajo pretende responder a estos interrogantes a través de la bioarquitectura, que permite entender y desarrollar una forma de proyectar respetuosa con el medio y el individuo. Si bien es cierto que ésta es una disciplina muy amplia, resulta particularmente interesante centrarse en la innovación. Con una perspectiva futurista, basada en el progreso, esta variante apuesta por la investigación y permite descubrir nuevas formas de proyectar. En este contexto, surge un tipo de procedimiento que busca emplear biomateriales como alternativa en la construcción y el diseño. En concreto, se intuye un gran potencial en los biorresiduos o residuos orgánicos. Por medio de la arquitectura, se pretende dar respuesta a cómo gestionar estos desechos, como la cáscara de huevo o la piel de plátano, que generalmente no tienen un uso principal. Se demuestra que, a través de una filosofía regenerativa, es posible dar un nuevo propósito a estos biomateriales, es decir, reutilizar los desechos orgánicos. Para ello, los laboratorios juegan un papel principal en la bioarquitectura.

La bioarquitectura presenta un futuro innovador, orgánico y regenerativo. Es capaz de dar una utilidad práctica a los residuos orgánicos mediante la investigación y el trabajo en el laboratorio.

**Palabras clave:** bioarquitectura, arquitectura regenerativa, economía circular, innovación, biomateriales, biorresiduos.



**Nadie puede inventar mejor que la naturaleza.**

**- Ken Yeang**



## **1. INTRODUCCIÓN:**

### **a. Motivación:**

La búsqueda de una arquitectura consciente e involucrada con las emociones y la naturaleza me ha llevado a centrar este trabajo en la bioarquitectura. Este tipo de construcción sostenible y ecológica rompe con los esquemas habituales y propone soluciones alternativas basadas en el ecosistema.

Se trata de una arquitectura inspirada en la naturaleza, que se construye con ella y que, a su vez, resulta beneficiosa para la salud física y emocional. En los últimos tiempos surge toda una variante innovadora de la bioarquitectura, que resulta de gran interés. Ligada a ella, se han conseguido grandes avances en biomateriales y su aplicación en campos como la medicina, biotecnología o ingeniería. Muchos grupos de investigación trabajan para que también la arquitectura se aproveche de esta evolución. Uno de sus posibles desarrollos, en el que encuentro mucho potencial, son los biorresiduos o residuos orgánicos. A partir de estos puedo plantear una hipótesis que posteriormente trasladar al laboratorio.

Desarrollo este trabajo a raíz de estas ideas y con la motivación de dar a conocer la bioarquitectura, en concreto los biorresiduos, y avanzar en su conocimiento y las posibilidades que ofrece.

### **b. Objetivos:**

Este trabajo tiene varios objetivos, tanto en el marco teórico como el práctico.

En primer lugar, se pretende visibilizar y realizar un análisis de la bioarquitectura, así como las diferentes variantes en las que se puede clasificar. De esta manera, se contextualizan los biorresiduos y la investigación desarrollada en el catálogo.

A continuación, el trabajo tiene como propósito elaborar un catálogo comparativo sobre biomateriales hechos con residuos orgánicos, viendo sus características y aplicaciones existentes.

Por último, la intención del presente trabajo es aportar un avance en el conocimiento y la investigación de varios biomateriales y estudiar las posibilidades de aplicación real.

### **c. Metodología:**

La metodología que se emplea consiste en búsquedas bibliográficas, principalmente en redes y en trabajo de investigación en el laboratorio.

Cabe destacar que el trabajo parte de lo más genérico a lo más particular, en lo que se va centrando. Se empieza estudiando la bioarquitectura, después se apuesta por la innovación y al final se centra en biorresiduos, idea que posteriormente se traslada al laboratorio.

Por ello el contenido se organiza en dos bloques principales: el marco teórico y el marco práctico. El propósito del primero es explicar cómo y por qué se ha centrado el trabajo, mientras que el segundo consiste en desarrollar de manera más detallada dicho enfoque. Además, acompañando al trabajo se incluye un glosario en el que se explican términos importantes para la correcta comprensión de este.

En cuanto al marco teórico, se recurre a una amplia bibliografía, principalmente en redes puesto que es un tema novedoso y aún no existen muchos libros publicados al respecto. Es una primera parte de análisis en la que se va centrando el trabajo desde la bioarquitectura en general a la innovación y los biomateriales residuales. Esta parte enlaza con el segundo bloque.

El trabajo continúa con el marco práctico, centrado en los biorresiduos. Primero, se investiga la gestión y problemática existente de los biorresiduos con el fin de proponer soluciones arquitectónicas. Después, se incluye un catálogo comparativo que recoge en un mismo documento su descripción, procedencia, características, utilidades y aplicación en la arquitectura y el diseño. A continuación, se realiza un estudio de caso de uno de los biomateriales en el laboratorio. Se avanza en su conocimiento técnico y se estudian las posibilidades de aplicación real.

## 2. GLOSARIO:

Este apartado tiene la finalidad de facilitar el entendimiento de los términos importantes de cara a la correcta comprensión del trabajo antes de adentrarse en él. No obstante, también aparecen conforme al avance de este, donde se desarrollan y enlazan con el resto del contenido.

**Bioarquitectura:** Arquitectura respetuosa con el medio ambiente que aprovecha recursos naturales, reciclados... Trata de reducir el impacto negativo y adaptarse a la naturaleza.

**Biomaterial:** En el presente trabajo se hace referencia al biomaterial empleado en construcción. Se trata de un material capaz de interactuar con el medio ambiente y que es tolerado por este.

**Bioarquitectura tradicional:** Esta variante de la bioarquitectura hace referencia a un modelo sostenible que se relaciona con la tradición. Existe desde los inicios de la arquitectura, ya que se trata de construcciones con recursos naturales, como por ejemplo la madera, el bambú, la paja o el barro.

**Bioarquitectura innovadora:** Esta variante pretende dar un paso extra a través de la investigación, para buscar nuevos modelos de bioarquitectura acordes a la filosofía de la arquitectura regenerativa. Se considera muy novedosa, puesto que aún está en desarrollo o fase de experimentación, con resultados a pequeña escala.

**Arquitectura sostenible:** Conlleva recursos sostenibles. Es una arquitectura respetuosa con el medio ambiente que valora el impacto que produce en este y trata de causar el menor daño posible. Entre otros, se incluyen las construcciones con bambú, madera... así como aquellas que emplean plásticos reciclados.

**Arquitectura regenerativa:** Va un paso más allá de la sostenibilidad y guarda mayor relación con la naturaleza ya que plantea un modelo capaz de coexistir con ella en lugar de a costa de ella. No roba recursos a la naturaleza, como el bambú o la madera, sino que aprovecha otros medios, como la quitina de los insectos muertos o la cáscara de huevo. En el bloque práctico del trabajo se plantea un modelo de arquitectura regenerativa que reutiliza el material, en este caso los desechos orgánicos, para darle un nuevo uso o propósito.

**Economía circular:** En lugar de producir, usar y tirar, la economía circular es un modelo económico que consiste en producir, usar, reutilizar o reparar y reciclar. Resulta beneficioso para el medio ambiente, ya que alarga la vida útil de los recursos, que se pueden reparar para volver a usar.

**Biorresiduo:** Hace alusión al residuo orgánico como la cáscara de huevo o la piel de naranja. Se trata del enfoque dado al trabajo, que se desarrolla en el bloque práctico. Se define y gestiona en la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.



**La humanidad es una parte de la naturaleza, sin embargo, el mundo que hemos diseñado ha creado una brecha entre nosotros. Ahora es nuestra responsabilidad curarla.**

**- Neri Oxman**



### 3. BLOQUE 1. MARCO TEÓRICO:

#### a. Contexto:

La bioarquitectura es una arquitectura respetuosa con el medio ambiente, que aprovecha recursos beneficiosos para la naturaleza e intenta reducir su impacto en ella. El trabajo se centra en esta disciplina arquitectónica, de la que se detectan muchas vertientes y subvertientes. Puesto que abarca maneras diferentes de proceder, se incluye este capítulo de contextualización, donde se aporta una visión global del tema, para posteriormente centrar el trabajo en los apartados posteriores.

Asimismo, es interesante comprender su valor e importancia. Una de las ventajas que le avalan es el respeto por el medio ambiente. Pero no es la única razón. Numerosos estudios establecen una relación entre la naturaleza y el bienestar físico y emocional de las personas. De hecho, como humanos tenemos tendencia a elegir espacios naturales frente a artificiales. Así lo demuestra un artículo publicado en el número especial de la revista *Maskana* en el año 2017, denominado *Fundamentos de la biofilia y neuroarquitectura aplicada a la concepción de la iluminación en espacios físicos*. En él, sus autores obtienen la siguiente conclusión «... los individuos sienten ... una inclinación innata por elegir espacios en los que se encuentran medios naturales...»<sup>1</sup>. A través de la bioarquitectura se pueden crear entornos que influyan positivamente en nuestra salud.

Se trata de un tipo de construcción que aprovecha recursos de la naturaleza o compatibles con ésta. Por su propio significado, puede referirse en realidad a construcciones existentes desde el inicio de la arquitectura por utilizar recursos naturales. No obstante, hoy en día se puede emplear dicho término bajo una mirada más futurista, que se aleja de lo primitivo para investigar otras formas de diseñar relacionadas con la biología. Para ello varias disciplinas trabajan de la mano. La biología, la tecnología y la ingeniería, entre otras, se unen a la arquitectura. La bioarquitectura está en constante evolución y todavía queda mucho que aportar en este campo.

En resumen, aunque tradicionalmente la bioarquitectura se asocia a la sostenibilidad, en los últimos tiempos parece tener una tendencia regenerativa, que busca rebasar los límites de la tradición y apostar por un futuro innovador. Cabe destacar que, una vez analizados y clasificados estos procesos, el trabajo se centra en la innovación, con una filosofía de cultura regenerativa. Se trata de un modelo de economía circular.

---

<sup>1</sup> ORELLANA-ALVEAR, Boris; LÓPEZ-HIDALGO, Andrés; MALDONADO, Juan; VANEGAS, Vanessa. 2017. "Fundamentos De La Biofilia Y Neuroarquitectura Aplicada a La Concepción De La Iluminación En Espacios Físicos." *Maskana* 8: 111-120; página 119.

## **b. Tradición e innovación en bioarquitectura:**

La bioarquitectura se puede entender y ejercer de maneras diferentes. En el presente trabajo se ha clasificado en dos vertientes principales, acorde a sus características, técnicas y objetivos. La primera se denomina bioarquitectura tradicional. Hace referencia a un modelo de construcción sostenible, presente desde los inicios de la arquitectura, que consiste en utilizar recursos naturales o beneficiosos para el medio ambiente. Por ello, esta vertiente se apoya en la tradición, con una mirada al pasado. La segunda se denomina bioarquitectura innovadora. Está relacionada con la innovación, con el foco puesto en el futuro. Se apoya en la investigación, con el fin de aportar progreso y buscar formas novedosas de hacer bioarquitectura. Además, frente a la sostenibilidad de la vertiente tradicional, ésta pretende ir un paso más allá y apuesta por la cultura regenerativa, con un modelo de economía circular.

Como se ha mencionado anteriormente, la bioarquitectura tradicional se asocia con la sostenibilidad. Se denomina de esta manera puesto que presenta la vuelta a la tradición. Se enfoca en la práctica, en la construcción real y valora el resultado final. Para ello, se utilizan materiales naturales o reciclados, de forma que se genere el mínimo impacto ambiental posible. Entre ellos destaca el bambú, el barro, la madera, la paja o los neumáticos reciclados. Además, generalmente incluye maneras más actuales, como, por ejemplo, nuevas técnicas constructivas, de emplear dichos materiales. De esta manera surge una arquitectura sostenible capaz de adaptarse al presente. No obstante, no conlleva mayor evolución que esa y en realidad mantiene la misma base que en el pasado, que consiste en construir con recursos sostenibles.

Dentro de esta vertiente podemos encontrar a autores como Gernot Minke. Es un arquitecto alemán, especializado en bioconstrucción, que a efectos de este trabajo se escoge para representar la bioarquitectura tradicional, ya que reúne todos los requisitos establecidos. Este destaca por su concienciación ambiental, lo que le lleva a desarrollar nuevas técnicas constructivas con materiales ecológicos que se adaptan a las necesidades actuales.



Figura 1: Residencia en Kassel, Alemania. Gernot Minke, 1985

Gernot Minke muestra especial interés por una arquitectura alternativa, basada en la ecología y alejada de los sistemas industrializados. Además, consigue un tipo de construcción adaptada al clima, de bajo coste y que no requiere tanta energía. Su trabajo conlleva fases de exploración, investigación y desarrollo. En cuanto a su trayectoria profesional, primero pasa por una etapa de materiales residuales, en la que recicla residuos como botellas, latas o neumáticos para aplicarlos en la construcción. Posteriormente, evoluciona hacia el empleo de materiales naturales o tradicionales. Entre ellos destacan la madera, el bambú, el barro, la paja y la arena. Gernot vuelve a lo tradicional, pero explorando nuevos sistemas y posibilidades. Cabe destacar que también combina materiales. En la imagen anterior (figura 1) podemos ver uno de sus proyectos. Se trata de la Residencia situada en la eco-aldea de Kassel, en Alemania. El proyecto data del año 1985. Destacan los tejados y fachadas verdes con madera en el exterior, mientras que el interior está compuesto por fardos de barro.

Respecto a la bioarquitectura innovadora, podemos relacionarla con la regeneración y la economía circular. Conlleva una evolución frente a la primera vertiente, ya que apuesta por explorar nuevos modelos viables de bioarquitectura. Su principal característica es la innovación y pone el foco en el futuro. En esta cara de la moneda predomina la investigación, de modo que el proceso, que implica observación, investigación y experimentación en laboratorio, resulta protagonista.

Como representante de esta otra vertiente destaca Neri Oxman y el MIT<sup>2</sup> Media Lab Mediated Matter. Se trata de un grupo de investigación del Instituto de Tecnología de Massachusetts, activo desde el 2010 hasta el 2021. Posteriormente, su trabajo se traslada a la compañía Oxman, liderada por Neri Oxman. Ésta toma como modelo la naturaleza, se basa en su forma de producir y deja que guíe el proyecto. Su forma de trabajar consiste en observar, experimentar e investigar, enlazando para ello disciplinas como el diseño, la tecnología, la ingeniería o la biología. Además, la fabricación digital es un recurso muy utilizado en sus proyectos, que incluye diseño asistido por ordenador, impresión 3D y otras nuevas tecnologías aplicadas al ámbito del diseño, la arquitectura y la biofabricación. Como explica Neri Oxman en el documental de Netflix *Abstract: el arte del diseño. Bioarquitectura: Neri Oxman* de 2019, su equipo «busca soluciones a problemas de futuro»<sup>3</sup>. Con ello se refleja su metodología, puesto que su interés reside en la investigación y no en el resultado final. Al contrario que en la bioarquitectura tradicional, aquí el proceso, gracias al cual se logran aportes innovadores, es lo más importante. Un ejemplo de ello es el proyecto Aguahoja. Este conlleva un proceso de investigación y manipulación de la quitina y la celulosa, como alternativa al plástico. Se trata de dos biopolímeros que utilizan a través de la impresión 3D.

---

<sup>2</sup> MIT hace referencia a las siglas en inglés para *Massachusetts Institute of Technology*, es decir el Instituto de Tecnología de Massachusetts, situado en Massachusetts, Estados Unidos. Fuente: <https://www.mit.edu/>

<sup>3</sup> OXMAN, Neri. *Abstract: El Arte Del Diseño. Bioarquitectura: Neri Oxman*. Netflix. 2019.



Figura 2: Aguahoja. MIT Media Lab Mediated Matter, 2014-2020

Por lo tanto, esta segunda vertiente destaca por ir más allá de la sostenibilidad. Su propuesta no se estanca en un modelo arquitectónico basado en recursos sostenibles, si no que pretende dar un paso extra. Experimenta con biomateriales novedosos con el fin de idear técnicas innovadoras.

Como conclusión, en el trabajo se tomará la innovación como punto de partida, puesto que la tradición se considera suficientemente explotada. Asimismo, la elección se liga a la idea de futuro, al escoger la opción que apuesta por este y que permite seguir investigando y avanzar en su conocimiento, con mayor oportunidad de desarrollo. La innovación aún tiene mucho que aportar y por eso se considera que es la vertiente en la que, como arquitectos, debemos centrarnos más. El futuro de la bioarquitectura está en los laboratorios.

### **c. Estado del arte de la innovación:**

Tras haber analizado las dos vertientes principales de la bioarquitectura, podemos destacar la innovación, puesto que es la que más posibilidades de investigación y avance ofrece de cara al futuro. Como arquitectas ya tenemos los medios y las técnicas para construir con barro, con paja o con madera... Se trata de la bioarquitectura tradicional, cuyo nivel de desarrollo se considera suficiente. Llegados a este punto, lo que pretende el trabajo es centrarse en la otra vertiente, que aún puede progresar hasta conseguir llegar al mismo nivel de desarrollo que la primera.

La innovación presenta un tipo de bioarquitectura con gran potencial, que busca una manera diferente de hacer las cosas. Por lo general, es una vertiente muy ligada a las nuevas tecnologías. A continuación, se verán los avances que existen actualmente en este campo. No obstante, la mayoría de los usos que se han logrado son a pequeña escala, en su mayoría relacionados con el diseño. Aún queda mucho por progresar en su conocimiento y aplicación. Para ello se apoya en la investigación para conseguir llegar al punto que la tradición ya ha llegado, poder construir. En resumen, avanzar en su conocimiento para poder aplicar la bioarquitectura innovadora en la escala arquitectónica.

Por ello, se dedica este apartado a realizar un estudio sobre la bioarquitectura innovadora, su avance, y su aplicación hasta la fecha. En este capítulo se tratan los siguientes interrogantes: ¿qué se ha hecho?, ¿cómo se ha hecho?, ¿a qué escala se ha llegado?, en lo que respecta a este tipo de arquitectura. De esta manera quedan reflejadas las posibles maneras de interpretar y aplicar esta vertiente.

Se ha realizado una clasificación según las diferentes formas de proceder detectadas tras su análisis. Es un campo muy amplio, que incluye técnicas como la utilización de las tecnologías más actuales, la biomímesis o los biomateriales novedosos, con métodos acorde.

En primer lugar, existe una rama que se caracteriza por aplicar las nuevas tecnologías, como la impresión 3D y la fabricación digital, para dar una segunda vida a los residuos no orgánicos. En la tradición ya veíamos como estos se aplicaban para construir, pero de forma directa. La innovación pretende proporcionar un nuevo sentido a la forma de gestionar estos desechos, como plásticos o textiles, mediante estas técnicas que consiguen reducir la cantidad de material primario. En este campo destacan Nagami design y Gianluca Pugliese con LOWPOLY.

Nagami design, se dedica a buscar soluciones novedosas para el mundo del diseño combinado con la fabricación digital. Sus obras y proyectos aplican las últimas tecnologías, entre las que se incluye la impresión 3D. Participaron en la decimoséptima bienal de Venecia, en el año 2021, con Plasticity (figura 3). Se trata de una escultura de 3,6 metro de alto del pabellón de Italia, diseñada por Niccolò Casas en colaboración con Parley for the Oceans y Nagami design. La primera empresa se involucra con el océano, ya que se dedica a limpiar el plástico para producir un material denominado Parley Ocean Plastic a partir de este. El arquitecto italiano lo usa para realizar la obra. Posteriormente interviene Nagami design al imprimirla en 3D.



Figura 3: Plasticity. Niccolo Casas, Parley for the Oceans y Nagami design, 2021.

A su vez, Gianluca Pugliese también se dedica a la fabricación digital e impresión 3D. Diseña a través de la tecnología y la sostenibilidad. Este arquitecto italiano es dueño de la empresa LOWPOLY, que al igual que en el caso anterior, desarrolla sus proyectos a partir de residuos. Los transforma en objetos desde pequeña a mayor escala, como escaparates o tiendas, puesto que participa principalmente con el sector de la moda.

En segundo lugar, otro estilo perteneciente a esta vertiente es la biomimética. Este tipo de arquitectura consiste en innovar copiando a la naturaleza. Janine M. Benyus es la precursora y una experta en el tema. Ha publicado libros y participado en charlas al respecto. Asimismo, junto a Dayna Baumeister, es cofundadora de Biomimicry 3.8. Se trata de un equipo especializado en biomimética, que en su página web definen como «La biomimética es aprender y luego emular las formas, los procesos y los ecosistemas de la naturaleza para crear diseños más sostenibles»<sup>4</sup>. Se dedican a orientar acerca de esta práctica, en la que son expertos, mediante colaboraciones con otras empresas o particulares.

Por otro lado, se aprecia otro ejemplo de aplicación de biomimética con el proyecto Protohouse (figura 4). Diseñado en 2012, pertenece a Softskill Design, un grupo de arquitectos con sede en Londres. Aunque la empresa parece haber desaparecido, su propuesta resulta interesante en este ámbito. Consiste en un prototipo de vivienda cuya estructura copia el crecimiento óseo mediante un algoritmo. Existe una maqueta a pequeña escala, concretamente a 1:33. El modelo real estaría impreso por partes en 3D, herramienta que, una vez más, demuestra su valor y utilidad en la innovación.

---

<sup>4</sup> <https://biomimicry.net/what-is-biomimicry/>



Figura 4: Protohouse. Softskill Design, 2012

Por último, cabe destacar el empleo de biomateriales innovadores. Se trata de otra de las múltiples ramas de la bioarquitectura innovadora. En referencia a la etimología de la palabra *biomaterial*, el diccionario de la RAE proporciona la siguiente definición: «Material tolerado por el organismo, utilizado para prótesis y otros fines»<sup>5</sup>. Si acudimos a otras fuentes populares, aunque de menor prestigio, obtenemos que «Un biomaterial es cualquier sustancia que ha sido diseñada para interactuar con los sistemas biológicos con un propósito médico, ya sea terapéutico ... o de diagnóstico»<sup>6</sup>. Esto demuestra como el término se aplica generalmente al campo de la medicina con referencia a la ciencia o ingeniería de los materiales. No obstante, en lo que respecta al trabajo, se hará alusión a los biomateriales de construcción, puesto que el interés reside en su aplicación en la arquitectura.

Dichos materiales son orgánicos, por lo que son capaces de coexistir con el medio ambiente y además presentan un tipo de arquitectura respetuosa con este. Resulta de especial interés los biomateriales innovadores, que implica aquellos que se alejan del sistema tradicional de madera, barro, etc. A su vez, por la clasificación que se ha establecido en el trabajo, esta rama presenta un campo muy diverso, dentro de cual podemos encontrar diferentes aproximaciones. Todas ellas ponen el foco en el futuro y conllevan procesos de investigación y experimentación con el fin de desarrollar nuevos modelos arquitectónicos compatibles con los principios de la bioarquitectura.

---

<sup>5</sup> <https://dle.rae.es/biomaterial?m=form>

<sup>6</sup> <https://es.wikipedia.org/wiki/Biomaterial>

Una de las posibilidades que se explora dentro del mundo de los biomateriales es a través del micelio. Se trata de una estructura procedente de los hongos, que pertenecen a la categoría de los microbios o microorganismos. En el grupo de los multicelulares se desarrollan unos filamentos denominados hifas, que se ramifican y forman el micelio. Así lo explican los autores del artículo de la revista ciencia, denominado *¿Qué son los microbios?* publicado en el número 2 del volumen 68 en el año 2017<sup>7</sup>. Empresas como Ecovative o Grown bio, dedicadas a la investigación y biofabricación a través del micelio, destacan en este sector.



Figura 5: The Growing Pavilion. Grown bio, 2019

Grown bio es un ejemplo de empresa que ha conseguido aplicarlo en los edificios. Han desarrollado paneles de aislamiento, muros de separación y revestimiento de paredes. En referencia a sus propiedades, estos materiales biodegradables pueden ser retardantes de fuego y aislantes. La imagen anterior (figura 5) corresponde al proyecto The Growing Pavilion, formado por paneles de micelio y presentado en Eindhoven, Alemania, en el año 2019. Además, cuentan con otros proyectos que incluyen desde embalajes y envases hasta objetos para la decoración y el diseño de interiores.

Por otro lado, otra de las ramas por la que se pueden extender el uso innovador de los materiales orgánicos, se relaciona con los biopolímeros. Anteriormente se ha visto el grupo de investigación MIT Media Lab Mediated Matter con proyectos como Aguahoja, explicado en el apartado anterior. Aunque no es en el único campo en el que despunta este equipo, muchos de sus proyectos estudian y aplican los biopolímeros en la biofabricación.

---

<sup>7</sup> SÁNCHEZ CONTRERAS, María de los Angeles; GONZÁLEZ FLORES, Tania; AYORA TALAVERA, Teresa del Rosario; EVANGELISTA MARTÍNEZ, Zahaed; PACHECO LÓPEX, Neith Aracely. 2017. "¿Qué Son Los Microbios?" *Ciencia-Academia Mexicana De Ciencias* 68 (2): 10-17.

Como tercera modalidad de uso de los biomateriales innovadores es aquella que toma lo producido por organismos vivos. Son arquitecturas cuya característica reside en aprovechar aquello que producen seres vivos. Es en este apartado en el que debemos volver a señalar al equipo de Oxman, que una vez más demuestra su versatilidad en la vertiente innovadora. Es un grupo capaz de adaptarse a los diferentes modelos y formas de proceder en este tipo de bioarquitectura, mientras otros, como Grown bio, se especializan en una única modalidad.



Figura 6: Silk Pavilion I. MIT Media Lab Mediated Matter, 2013.

El Silk Pavilion I de 2013 (figura 6)—proyecto que precede al Silk Pavilion II del año 2020 en el que se emplean los mismos métodos y se amplían los recursos de la primera versión— estudia la relación entre la biología y la robótica. El proyecto se apoya en una estructura de soporte inicial. Posteriormente, a través del diseño asistido por ordenador e inspirado por los propios gusanos, se desarrolla un primer entramado de hilo sobre el que se depositan 6500 gusanos de seda para hilar el resto del pabellón biológicamente. El resultado final es una cúpula de 3 metros de ancho. No obstante, es una arquitectura compleja, cuyo proceso conlleva mucha dedicación al estudio de estos insectos. Por ejemplo, como dato de interés, se descubre que cada uno es capaz de producir aproximadamente 1 kilómetro de hilo. Analizan la estructura biológica del capullo y observan su relación con el entorno, por lo que adaptan aspectos como la luz o el calor. De esta manera, aunque son los gusanos los que generan libremente la cúpula, interfieren en su trabajo para orientar el resultado a sus intenciones. Es decir, intervienen en un proceso de construcción orgánico, una forma de creación guiada por seres vivos y que aprovecha sus recursos y producción, sin resultar perjudicial para estos.

Por último, clasificados dentro de los biomateriales innovadores, destacan los biorresiduos. De este modo quedan contextualizados dentro de las múltiples posibilidades que ofrece la bioarquitectura. En concreto, haciendo hincapié a lo explicado anteriormente, se sitúan dentro de la rama de biomateriales en la vertiente de innovación. A partir de este punto, el trabajo se centra en dichos residuos orgánicos, puesto que se detecta potencial en cómo la arquitectura puede gestionarlos y hasta qué punto se pueden emplear en esta disciplina.

Se trata de generar un modelo de arquitectura regenerativa que valoriza y aprovecha residuos como la cáscara de huevo o la piel de plátano. Es beneficiosa para el medio ambiente, ya que concurre en un modelo de economía circular, puesto que los biorresiduos resultan aprovechables para emplearlos con un nuevo fin arquitectónico. Aunque podemos ver la utilización de estos residuos combinados con otros materiales no orgánicos –la cascara de cacahuate, por ejemplo, se puede utilizar como material complementario mezclado con cemento en la construcción, puesto que mejora la resistencia y durabilidad de los elementos constructivos y proporciona aislamiento acústico– en el trabajo se hace referencia a una arquitectura orgánica, que emplea los residuos como material principal.



Figura 7: Feel the Peel. Estudio Carlo Ratti Associati (CRA) y Eni, 2019.

Feel the Peel (figura 7) es un exprimidor de naranjas que aprovecha el residuo generado para convertirlo en un vaso a través de una impresora 3D que lleva incorporada. Es decir, su función no solo se limita a exprimir la fruta para obtener el zumo, sino que además crea un recipiente para beberlo mediante la piel de las propias naranjas. De esta manera, el desperdicio se reduce prácticamente a cero. Es un proyecto del año 2019 del estudio Carlo Ratti Associati (CRA), en colaboración con la empresa Eni.

Este es solo un ejemplo de cómo aprovechar el biorresiduo y darle un nuevo uso acorde a la arquitectura regenerativa, con una visión de economía circular. No obstante, también hay muchas otras empresas, universidades o particulares investigando en este sector. Por ello, se dedica el siguiente apartado a profundizar en el tema y se dedica mayor detenimiento a la información obtenida por cada material. Asimismo, se explican los datos y estadísticas en los que se apoya el criterio de selección.



**¿Son desechos o materia prima?**

**-Laura Messing**



#### 4. BLOQUE 2. MARCO PRÁCTICO:

##### a. Análisis: Catálogo comparativo de biorresiduos:

El marco práctico se centra específicamente en los biorresiduos.

Actualmente, existe en España una ley publicada en el BOE denominada *Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular*. Puesto que entró en vigor en abril de 2022, se considera muy reciente, al igual que la innovación en la bioarquitectura. En cuanto a su contenido, se regula la gestión de los residuos. A su vez se establece medidas para los biorresiduos, los cuales se definen como:

«Biorresiduo»: residuo biodegradable vegetal de hogares, jardines, parques y del sector servicios, así como residuos alimentarios y de cocina procedentes de hogares, oficinas, restaurantes, mayoristas, comedores, servicios de restauración colectiva y establecimientos de consumo al por menor, entre otros, y residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos.<sup>8</sup>

Los biorresiduos pueden ser por una parte de origen alimentario y de cocina, entre los que se incluyen los restos de comida, alimentos en mal estado o que no se han comercializado, los procedentes de transformación de estos... Por otra parte, pueden ser vegetales de pequeño tamaño de viviendas, parques, jardines... o de mayor tamaño, derivados de la jardinería y poda. Por su gestión, se incluyen en el grupo de FORS (fracción orgánica de recogida separada) los restos de comida y vegetales de pequeño tamaño, mientras que en FV (fracción vegetal) se incluyen, de nuevo, los restos vegetales de pequeño tamaño, pero también los de mayor tamaño originados por la poda. Ambas fracciones constituyen la materia orgánica, fracción predominante en los residuos municipales.

Asimismo, se estipula obligatorio recoger separadamente los residuos municipales, entre los que se encuentran los biorresiduos. En Bizkaia, por ejemplo, se generan alrededor de 7.410 toneladas de biorresiduo domiciliario<sup>9</sup>. Además, existe un sistema de tratamiento de biorresiduos, que pueden implicar procesos de transformación biológicos entre los que se incluye el compostaje y la biometanización, o emplearse como biomasa para la generación de energía.

---

<sup>8</sup> Definición obtenida de: *Ley 7/2022, De 8 De Abril, De Residuos Y Suelos Contaminados Para Una Economía Circular*. (2022): . <https://www.boe.es/eli/es/l/2022/04/08/7/con>.

<sup>9</sup> <https://garbiker.bizkaia.eus/es/contenedor-marron>

A través de los datos obtenidos en el último informe de recogida de residuos municipales del año 2020, emitido por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del Gobierno de España, se ha elaborado la siguiente tabla<sup>10</sup>:

Tipo de Residuo	Generado	Compostado	Vertido	Incinerado
Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes	<b>890.479</b>	611.047	208.373	71.060
Residuos biodegradables de parques y jardines	<b>362.733</b>	240.610	106.158	15.965

Esto es, en 2020 se generaron casi 900mil toneladas de residuos de origen alimentario y de cocina. Tras la observación de estos datos se considera este tipo biorresiduos como un área de oportunidad que explorar, lo cual apoya y justifica el enfoque dado en el trabajo. Se intuye valor en el residuo orgánico para su aplicación en las diferentes ramas de la arquitectura, evitando que los vertederos se llenen de elementos que puedan resultar útiles. Entre sus beneficios se incluye el bajo impacto ambiental, poca contaminación y la adaptación a un modelo económico circular.

En la práctica existe una serie de profesionales que toma este tipo de residuos para generar biomateriales que se aplican en el ámbito del diseño y la arquitectura. A continuación, se elabora un catálogo que recoge información al respecto. Se trata de emplearlos como materia prima, acorde a lo explicado anteriormente en pro de la arquitectura regenerativa y la economía circular. Por cada materia prima (biorresiduo) se crea un material, compuesto mayoritariamente por el biorresiduo y con un porcentaje de agua y aglutinante orgánico, entre otros, y con cada material se pueden fabricar una serie de productos, como por ejemplo lámparas. Por ello, la metodología del catálogo consiste en desarrollar una ficha por cada residuo. En ellas se incluye información acerca de la materia prima y ejemplos de aplicación de los materiales obtenidos a partir de éstas.

En cuanto al contenido se desarrolla el siguiente índice:

1. Conchas de moluscos bivalvos
2. Cáscara de huevo
3. Piel de naranja
4. Piel de limón
5. Piel de plátano

---

<sup>10</sup> Datos en toneladas. Extraído a partir de: Gobierno de España. 2020. *Memoria Anual De Generación Y Gestión De Residuos. Residuos De Competencia Municipal 2020*. miteco.gob.es. Edita: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.



## CONCHAS DE MOLUSCOS BIVALVOS

### Descripción:

Los bivalvos pertenecen al grupo de los moluscos, uno de los principales grupos del mundo marino. Sus conchas están formadas por dos piezas o valvas muy similares y unidas por un ligamento elástico. En el interior de estos organismos marinos habitan moluscos como almejas, ostras o mejillones. Se trata de exoesqueletos duros y rígidos formados en su mayoría por proteínas y carbonato de calcio generado por los moluscos, a los que sirve de protección actuando como un caparazón.

### Procedencia:

Proceden de la producción acuática (acuicultura y pesca).

La industria acuícola destaca en España, que en 2020 produjo 307.168 toneladas, con el mejillón encabezando la lista de las principales especies<sup>11</sup>. Asimismo, en ese mismo año (2020) los moluscos fueron la segunda especie más pescada por los buques españoles, suponiendo un 5% del peso del total de la pesca<sup>12</sup>.

En concreto en 2020 se cosecharon en España 235.847 toneladas de Moluscos, en su mayoría mejillones. A nivel nacional, Galicia se sitúa en primer lugar como la comunidad autónoma que más mejillones produce del país, lo que supone alrededor de un 97% del total. A su vez, en 2020 también se cosecharon otros moluscos, como las ostras con 762 toneladas, donde vuelve a destacar Galicia como principal productor o las almejas con 1.619 toneladas<sup>11</sup>.

Además, la gran mayoría de establecimientos en España de acuicultura que funcionan y producen están destinados a moluscos<sup>11</sup>.

Parte de esta producción acuática está destinada a la industria alimentaria y conservera. Una vez consumido el producto principal, se genera una gran cantidad de residuo orgánico. Se estima que sólo en Galicia, principal productor de la mayoría de las especies de moluscos en España, se generan más de 80.000 toneladas métricas de residuos de conchas<sup>13</sup>.

### Características:



Gráfico de elaboración propia

<sup>11</sup> APROMAR OPP30. 2021. *Informe 2021. La Acuicultura En España*.

<sup>12</sup> Gobierno de España. 2021. *Informe Anual De Indicadores Agricultura, Pesca Y Alimentación 2021*. mapa.gob.es. Edita: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

<sup>13</sup> PECEÑO, Begoña. 2021. "Reciclado De Residuos De Conchas Procedentes De La Industria Acuícola En Distintos Materiales De Construcción: Evaluación Técnica Y Ambiental Como Árido En Barreras Acústicas, Y Como Producto Para La Protección." Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.

### Utilidades:

Además, se estudian las conchas de estos moluscos por su utilidad respecto a otras propiedades.

En el campo científico se pueden emplear como termómetros marinos que proporcionan la temperatura a la que se formaron. Esto se debe a su composición química, puesto que la información se puede obtener a partir del carbonato de calcio que las compone<sup>14</sup>.

Por otro lado, en el sector constructivo se estudia su viabilidad respecto a la protección contra incendios o contra el ruido. Como plantea Begoña Peceño en su Tesis Doctoral de Ingeniería Energética, Química y Ambiental sobre el reciclado de residuos conchas, «... se propone reciclar los residuos de conchas como sustituto de áridos para implementarlos de forma novedosa en el uso en barreras acústicas y como sustituto del yeso en elementos para la protección pasiva contra el fuego por su alto valor añadido.»<sup>15</sup>

### Aplicación:

Organic.art es una *Startup* catalana que se dedica a transformar las conchas marinas en piezas de artesanía y decoración. Bajo la intención de reducir los residuos y en pro de una economía circular, plantean un enfoque de ecodiseño que toma como materia prima los desechos de las conchas que se generan del sector gastronómico. A partir de ellas crean tres materiales que denominan *Mattmar*, *Terrazo Marino* y *Mineral*. Se aplican en objetos de decoración e interiorismo, como lámparas, bandejas o recipientes. Actualmente siguen en proceso de investigación y desarrollo.

Para generar el primer material, *Mattmar*, utilizan ostras, vieiras, berberechos y mejillones. Generalmente está pensado para uso interior, ya que no han conseguido hacerlo resistente al agua. En función de la concha de origen y la densidad de la granulometría consiguen acabados con diferentes colores y texturas, aunque las características resultan muy similares. Entre ellas se incluye una resistencia alta al fuego, media a las ralladas y baja al agua. Además, el *Mattmar* tiene dos variantes, la original y la vegetal. La primera aprovecha un 85% de residuo, mientras que la segunda aprovecha un 92%. Como aglutinantes para unir las conchas trituradas se emplean materiales orgánicos, como gelatina o alginato<sup>16</sup>, de forma que el producto resultante es 100% biodegradable.

Hasta la fecha, esta firma catalana ha conseguido desarrollar una serie de productos y, por lo tanto, demostrar la viabilidad de emplear materiales orgánicos. La lámpara *Maresme* (figuras 8 y 9) está creada con *Mattmar*. Según los tipos de conchas y las proporciones que se utilicen, obtienen varias versiones de dicha lámpara.

---

<sup>14</sup> MEDINA-SÁNCHEZ, Javier. 2021. "Conchas Marinas: Exquisitos Termómetros." *Revista Digital Universitaria* 22 (2).

<sup>15</sup> PECEÑO, Begoña. 2021. "Reciclado De Residuos De Conchas Procedentes De La Industria Acuícola En Distintos Materiales De Construcción: Evaluación Técnica Y Ambiental Como Árido En Barreras Acústicas, Y Como Producto Para La Protección." Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.; página 11

<sup>16</sup> Información aportada por el equipo de Organic.art



Figura 8: Orgasnic.art. Lámpara Maresme



Figura 9: Orgasnic.art. Lámpara Maresme

En segundo lugar, el Terrazo Marino (figura 10), formado por berberechos, vieiras y mejillones, pretende imitar al mármol. Se usa en forma de piezas planas para revestimiento interior, como encimeras o sobremesas, pero también para la fabricación de otros objetos como macetas. El resultado es un material resistente al agua, las ralladas, el fuego y la compresión. Sin embargo, no es completamente orgánico ni biodegradable, puesto que se compone de una base de cemento y un 40% de residuo.



Figura 10: Orgasnic.art. Terrazo Marino

Por último, generan un tercer material denominado Mineral, con una base de resina mineral no tóxica y un 40% de residuo de cáscaras berberechos, vieiras y mejillones. Destaca por su alta resistencia al fuego, agua y a la compresión, aunque, a diferencia del Terrazo Marino, no resulta tan resistente a las ralladas. De nuevo, consiguen una gama de variedades en función de la especie y la granulometría empleada. En este caso, las utilidades de Mineral van más allá del uso interior, ya que no solo se puede utilizar con este fin, sino también como macetas, por su resistencia al agua, e incluso para productos exteriores.



Figura 11: Orgasnic.art. Cactus Collection



Figura 12: Orgasnic.art. Cactus Collection

En la serie Cactus Collection (figuras 11 y 12), de uso decorativo, se aplica este material y el Mattmar. Forman parte de ella una serie de piezas como cuencos, bandejas, portalápices o tableros de mesa. Con ella proporcionan una solución para la organización de espacios de trabajo, para almacenar pequeños objetos, decorar o revestir mesas.

## CÁSCARA DE HUEVO

### Descripción:

La cáscara de huevo es una biocerámica compuesta principalmente por carbonato de calcio. Se trata de una composición de capas de bajo espesor que sirven de protección al huevo situado en el interior. De interior a exterior se sitúa, en primer lugar, una primera capa formada por dos membranas. Una rodea la clara del huevo y la otra queda externa a ella y es ligeramente más gruesa. Posteriormente aparece la capa mineral, compuesta principalmente por calcio y carbonatos. Por último, en el exterior aparece una cutícula, a la que se le debe el color, que cubre la capa mineral.

### Procedencia:

Proviene del sector avícola de puesta, uno de los principales sectores ganaderos en España.

Adelantado por Francia y Alemania, España es el tercer país que más huevos produce a nivel de la Unión Europea. Los datos nacionales de aproximadamente las últimas dos décadas (de 2003 a 2021), reflejan una producción de huevos por año comprendida entre 1 y 1.2 millones de miles de docenas<sup>17</sup>.

Asimismo, en los hogares en España, de donde procede gran parte de los biorresiduos de origen alimentario y de cocina, se observa un aumento significativo del consumo avícola de huevos en el año 2020, relacionado con el confinamiento debido al SARS-CoV-2. Un año más tarde, en 2021, este consumo se reduce alrededor de un 10%, alcanzando una cifra de 404.499 toneladas<sup>17</sup>.

### Características:

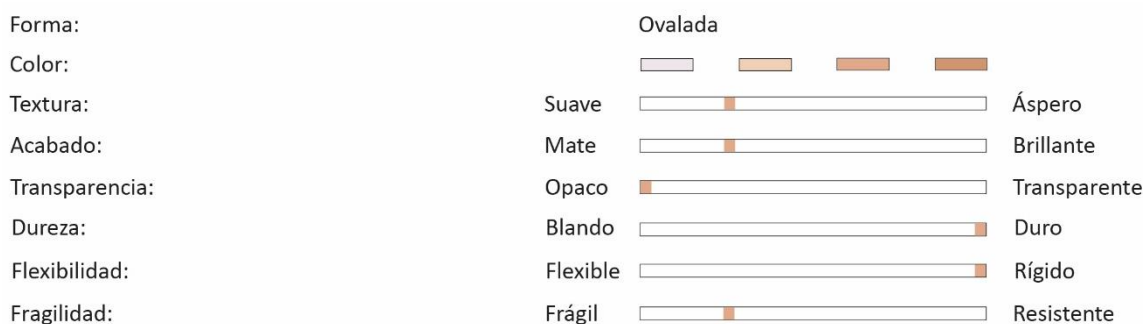


Gráfico de elaboración propia

### Utilidades:

La cáscara de huevo supone una oportunidad en el sector de la construcción por su capacidad resistente. Puede ser empleado para incorporarlo en materiales constructivos con base de cemento. De hecho, un estudio de la Universidad de La Sabana (Colombia) ha demostrado la factibilidad de elaborar un mortero sostenible más resistente utilizando dicho material en sustitución de un porcentaje del tradicional cemento.

«Este estudio muestra como las propiedades físico-mecánicas de una mezcla de mortero elaborada con un reemplazo del cemento con un 10% en volumen por cáscaras de huevo secas y trituradas, pueden ser mejoradas comparadas a las de un mortero tradicional.»<sup>18</sup>

<sup>17</sup> "EL SECTOR DE LA AVICULTURA DE PUESTA EN CIFRAS: Principales Indicadores Económicos", Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios

<sup>18</sup> FORESTIERI, Giulia; OCHOA T, Laura D. 2019. "Mortero Sostenible Con Cáscara De Huevo." *Investigación Formativa En Ingeniería*: 128.

### Aplicación:

MANUFACTURA es un estudio de México que busca reutilizar los residuos de cáscara de huevo, que trabajan como una biocerámica a la que dan forma a través de un brazo robótico dirigido por ordenador. Hoy en día siguen en proceso de realización de pruebas, pero su objetivo es llegar a obtener un material construible.

Toman como materia prima este residuo, que machacan y trituran. Posteriormente, añaden agua y aglutinante orgánico<sup>19</sup> a la mezcla, con lo que obtienen un biomaterial apto para la fabricación de ladrillos mediante la impresión 3D. El proceso incluye recoger y almacenar los desechos producidos a partir del producto avícola tras su consumición en restaurantes. Después realizan la mezcla que introducen en un brazo robótico controlado por ordenador. Gracias a esta técnica, propia de la innovación, consiguen proyectar ladrillos tridimensionales a través de formas curvas. Para cada proyecto buscan la forma más óptima del ladrillo, ya que la impresión 3D permite conseguir diferentes geometrías.



Figura 13: MANUFACTURA. Eggshell Bricks



Figura 14: MANUFACTURA. Eggshell Column

Participaron en la Design Week de Mexico de 2022 con su proyecto Eggshell Bricks (figura 13). Se trata de un muro formado por la acumulación de los ladrillos. Un año más tarde, en 2023, presentaron Eggshell Column (figura 14), una columna estable formada por la superposición de ladrillos de diferentes formas y tamaños. Estos proyectos reflejan la posibilidad de aplicación de sus productos como elementos estructurales. En ambos las piezas se ensamblan a través de sus geometrías.

---

<sup>19</sup> Información aportada por el equipo de MANUFACTURA

## PIEL DE NARANJA

### Descripción:

Las naranjas son frutas cítricas con origen en Asia que crecen en los naranjos. Su piel o bagazo está compuesta principalmente por agua y presenta un alto porcentaje en proteínas, hidratos de carbono y grasas, además de otras vitaminas o minerales.

### Procedencia:

La producción de cítricos en España supuso un total de 7.043.366 toneladas en la campaña 2021/2022, de los cuales 3.749.026 toneladas fueron naranjas. Suponen el grupo de cítricos con mayor producción a nivel nacional. Principalmente se obtienen de la Comunidad Valenciana, seguida por Andalucía y Murcia<sup>20</sup>.

A nivel mundial, se estima se estima una producción de naranjas de 47,5 millones de toneladas para la campaña 2022/2023<sup>20</sup>. Asimismo, España es el cuarto país que más naranjas produce, adelantado únicamente por Brasil, Estados Unidos y China<sup>21</sup>.

Los cítricos obtenidos en España se destinan a comercio exterior (exportación), a la venta y consumo nacional (hogares, restaurantes...), a la transformación industrial, etc. También pueden ser retirados. Por ejemplo, en la campaña 2021/2022, se retiraron más de 7.000 toneladas, de las cuales alrededor de un 45% fueron naranjas<sup>22</sup>.

Además, en los hogares de España se ha consumido desde la campaña de 2017/2018 hasta la de 2021/2022 una media de más de 600mil toneladas de cítricos. De ellas más de 350mil toneladas son naranjas. Cabe mencionar que se prevé un descenso de dicho consumo<sup>20</sup>.

### Características:

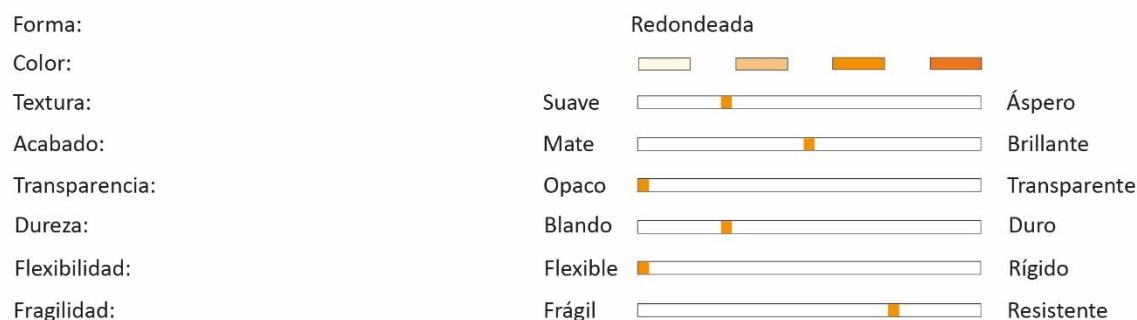


Gráfico de elaboración propia

### Utilidades:

Cabe la posibilidad de extraer los aceites esenciales de las cáscaras de las naranjas en laboratorio. Estos resultan positivos para su empleo en la industria farmacéutica, en cosmética y aromaterapia, además de tener otros beneficios relacionados con la salud.

<sup>20</sup> Gobierno de España. 2023. *Análisis De La Campaña De Cítricos 2022/2023. 2023*. Edita: Ministerio de Agricultura, Pesca y. Alimentación.

<sup>21</sup> <https://www.mapa.gob.es/app/materialvegetal/fichamaterialvegetal.aspx?idficha=12>

<sup>22</sup> Cálculo propio a partir de los datos obtenidos en: Gobierno de España. 2023. *Análisis De La Campaña De Cítricos 2022/2023. 2023*. Edita: Ministerio de Agricultura, Pesca y. Alimentación.

### Aplicación:

Krill Design es una empresa italiana situada en Milán. Toman como materia prima las cáscaras de las naranjas, así como de otros productos<sup>23</sup>, para elaborar un biomaterial completamente orgánico y biodegradable, que denominan *Rekrill*. Después, utilizan impresoras 3D para producir diferentes objetos del ámbito del diseño interior.

El equipo se une bajo un concepto de economía circular, tras detectar una oportunidad en el desperdicio de las cáscaras de naranja. Tanto es así que el primer paso en su proceso de trabajo supone recoger los desechos de esta fruta procedentes de bares, restaurantes y demás comercios locales. Por su clasificación, estos forman parte de los biorresiduos de origen alimentario y de cocina. El siguiente paso implica su corte y secado natural. Para trabajar con la piel de naranja es preferible hacerlo con trozos pequeños y de grosor fino, de manera que pueda llevarse a cabo su deshidratación de forma natural y sin químicos añadidos. Posteriormente, se utilizan los restos deshidratados para crear un biomaterial, el Rekrill, con el que proyectan lámparas y otros objetos del ámbito del interiorismo mediante el diseño asistido por ordenador e impresoras 3D. Gracias al uso de estas tecnologías y también debido a que sus productos se elaboran únicamente bajo demanda, se aseguran de no producir más de lo necesario y reducir el desperdicio a cero.



Figura 15: Krill Design. Lámpara



Figura 16: Krill Design. Jarrón.

Entre sus proyectos destaca la colección Ribera, a la que pertenecen objetos formados con cáscara de naranja y elaborados mediante el proceso explicado anteriormente. En ella se incluyen lámparas (figura 15), organizadores de escritorio y jarrones (figura 16).

---

<sup>23</sup> Ver ficha 4 PIEL DE LIMÓN.

## PIEL DE LIMÓN

### Descripción:

Los limones son productos agrícolas del grupo de las frutas cítricas. Al igual que las naranjas y otros cítricos tienen su origen en Asia. Los limones están protegidos por una piel que se compone de vitamina C, potasio y otras vitaminas y minerales.

### Procedencia:

Los limones ocupan el tercer lugar de la producción cítrica en España. Como se ha mencionado anteriormente, los datos de la campaña 2021/2022 de cítricos en España reflejan una producción total superior a 7 millones de toneladas de las cuales, 1.047.323 toneladas fueron limones. Principalmente se obtienen de la Comunidad Valenciana, seguida por Andalucía y Murcia<sup>24</sup>.

Para la campaña 2022/2023 se estima una producción global de limones de 9,3 millones de toneladas<sup>24</sup>.

En España los cítricos se destinan a la exportación de comercio exterior, a la transformación industrial, a la venta y consumo en hogares, hostelería, etc. También pueden ser retirados. Por ejemplo, en la campaña 2021/2022, se retiraron más de 7.000 toneladas, de las cuales alrededor de un 4,5% fueron limones<sup>25</sup>.

Asimismo, en los hogares de España, de donde provienen gran cantidad de biorresiduos de origen alimentario y de cocina, se ha consumido desde la campaña de 2017/2018 hasta la de 2021/2022 una media de más de 600mil toneladas de cítricos. De ellas casi 55mil toneladas son limones<sup>24</sup>.

### Características:

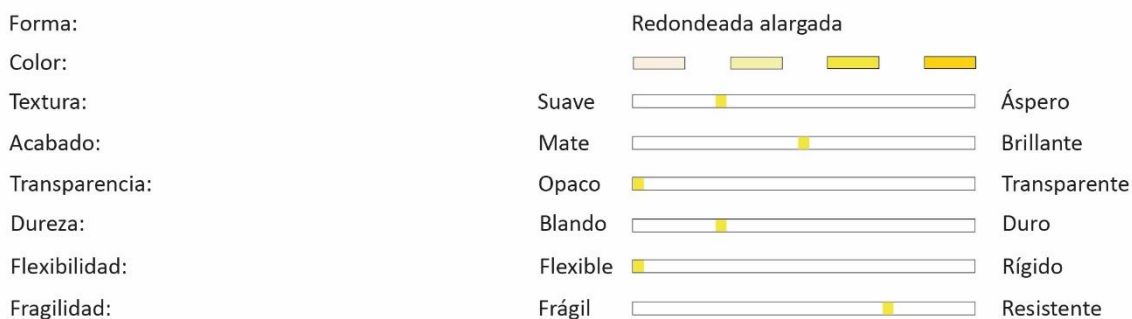


Gráfico de elaboración propia

### Utilidades:

En el campo de la medicina, los limonoides que se encuentran en la corteza del limón, ayudan a prevenir algunos tipos de cáncer.

Asimismo, existe la posibilidad de extraer los aceites esenciales de la piel de limón. Estos resultan positivos para su empleo en la industria farmacéutica, en cosmética y aromaterapia, además de contar con otros beneficios relacionados con la salud.

<sup>24</sup> Gobierno de España. 2023. *Análisis De La Campaña De Cítricos 2022/2023. 2023*. Edita: Ministerio de Agricultura, Pesca y. Alimentación.

<sup>25</sup> Cálculo propio a partir de los datos obtenidos en: Gobierno de España. 2023. *Análisis De La Campaña De Cítricos 2022/2023. 2023*. Edita: Ministerio de Agricultura, Pesca y. Alimentación.

### Aplicación:

En este apartado vuelve a destacar la empresa italiana, situada en Milán, Krill Design, que toma la cáscara del limón como materia prima para fabricar varios de sus productos. También trabajan con otros cítricos, como las naranjas<sup>26</sup>. A través de estos desechos elaboran un biomaterial completamente orgánico y biodegradable, denominado *Rekrill*. Con ello producen diferentes objetos del ámbito del diseño interior gracias impresoras 3D.

La empresa sigue un modelo de economía circular y aprovecha el desperdicio de la piel del limón. De esta manera, el primer paso en su proceso de trabajo supone recoger los desechos de esta fruta procedentes de la hostelería local. Por su clasificación, estos forman parte de los biorresiduos de origen alimentario y de cocina. Posteriormente, se cortan y deshidratan las cáscaras de limón. A través de dichos restos se crea un biomaterial, el Rekrill, con el que proyectan relojes, lámparas y otros objetos del ámbito del interiorismo mediante el diseño asistido por ordenador e impresoras 3D. Gracias al uso de estas tecnologías y también debido a que sus productos se elaboran únicamente bajo demanda, se aseguran de no producir más de lo necesario y reducir el desperdicio a cero.



Figura 17: Krill Design. Reloj



Figura 18: Krill Design. Jarrón.

La colección Amalfi se incluye entre sus proyectos. Pertenecen a ella objetos formados con piel de limón, elaborados mediante el proceso explicado anteriormente. Esta colección incluye relojes (figura 17), fruteros y revisteros (figura 18).

---

<sup>26</sup> Ver ficha 3 PIEL DE NARANJA.

## PIEL DE PLÁTANO

### Descripción:

La piel del plátano es una capa gruesa y de color amarillento que cubre el fruto del interior. Su composición incluye principalmente agua e hidratos de carbono. Además, es rica en magnesio y potasio.

### Procedencia:

El plátano procede de la producción agrícola y se clasifica en el grupo de frutas y hortalizas, en concreto en el grupo de fruta dulce.

En 2020 la producción mundial de frutas y hortalizas supuso un total de 2.035 millones de toneladas.<sup>27</sup> En este contexto, España ocupa el tercer puesto a nivel de producción mundial, mientras que a nivel europeo se convierte en el primer productor<sup>28</sup>. Aporta alrededor de un 26% de la producción total Europa, que en 2021 alcanzó la cifra de 105 millones de toneladas<sup>27</sup>.

Además, cabe destacar la distribución porcentual de las frutas y hortalizas a nivel nacional. El grupo mayoritario, con un 60% de la producción son las hortalizas. A este dato le sigue la producción de cítricos, con un porcentaje alrededor del 30%. Por último, se estima que la fruta dulce supone un 11% de la producción<sup>28</sup>.

### Características:

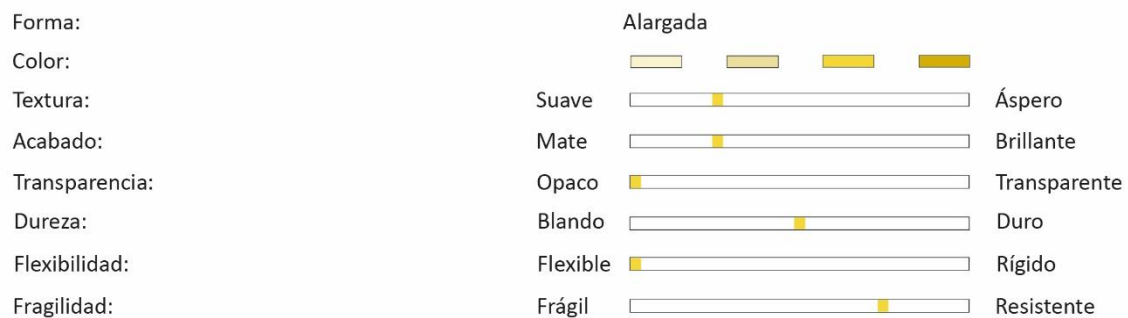


Gráfico de elaboración propia

### Utilidades:

La piel de plátano es biodegradable y compatible con el compostaje. Se puede convertir en fertilizante natural para la tierra.

<sup>27</sup> Gobierno de España. 2022. *Cifras del sector de Frutas y Hortalizas. Actualizado a 2021*. mapa.gob.es. Edita: Subdirección General de Frutas y Hortalizas y Vitivinicultura.

<sup>28</sup> [https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/informacion\\_general.aspx](https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/informacion_general.aspx)

### Aplicación:

Laura Messing se dedica a la investigación y el desarrollo de biomateriales. Para producirlos utiliza biorresiduos procedentes, entre otros, de las frutas o plantas. Por sus características se pueden clasificar como bioplásticos o biocueros. Entre sus proyectos destacan los biocueros fabricados a partir de cáscara de plátano (figura 19).



Figura 19: Laura Messing. Biocuerdo



Figura 20: MOEBIO Design. Collar

Su procedimiento se adapta a la economía circular e implica desperdicio 0, puesto que la elaboración de estos nuevos cueros toma como materia prima la piel desechada del plátano, además de otros residuos orgánicos como la piel de naranja o la hoja del maíz. A su vez, se utilizan recursos accesibles, que no requieren grandes maquinarias ni resultan perjudiciales para el medio ambiente. De esta manera, los biomateriales obtenidos siguen los criterios de la arquitectura regenerativa.

A través de su trabajo, Laura presenta una alternativa vegana a las pieles animales. Como materia prima se utiliza la piel de plátano. Con ella se produce un biocuerdo, que resulta viable para producir una serie de objetos de joyería. La apuesta por los biorresiduos se convierte en una oportunidad de negocio, ya que se crea una tienda de joyería, MOEBIO design, en la que se venden adornos, como pendientes o collares (figura 20).



**Los materiales del futuro no se fabrican, sino que se cultivan y se cocinan**

**- Ángela Ruiz**



## **b. Hipótesis: Estudio de biomateriales en laboratorio:**

¿Cómo son los biomateriales obtenidos a partir de residuos orgánicos? ¿Es posible emplearlos en ámbitos de la arquitectura como el interiorismo o la construcción?

A través de la siguiente investigación se pretende dar un nuevo uso a los biorresiduos de origen alimentario y de cocina, convirtiéndolos en biomateriales aptos para su aplicación arquitectónica. La producción de estos nuevos materiales se adapta a los criterios de la arquitectura regenerativa. Cuenta con la ventaja del empleo de técnicas sencillas y asequibles, sin requerir maquinaria industrial pesada, además de generar un desperdicio cero por su aprovechamiento de residuos, que se convierten en materias primas. Asimismo, los biomateriales resultantes son biodegradables, cerrando el círculo de la economía circular. El proceso resultante es sostenible, ya que no resulta perjudicial para el medio ni supone la sobreexplotación o malgasto de recursos y biocompatible por los componentes empleados, que son los siguientes:

1. Biorresiduos<sup>29</sup>:
  - Conchas de mejillón:
  - Conchas de almeja
  - Cáscaras de huevo
  - Piel de naranja
  - Piel de plátano
  
2. Glicerina: La glicerina, o glicerol, es un compuesto incoloro y viscoso de la familia de los alcoholes. Se obtiene principalmente a partir de aceites y grasas naturales de origen animal o vegetal. En este caso se ha utilizado un producto de glicerina vegetal, biocompatible y no tóxica, con una pureza del 99,5%. Además, el uso del glicerol es común en productos de cuidado personal y cosmética, por sus propiedades hidratantes, humectantes, emolientes, etc. En la investigación que nos ocupa, su principal función es proporcionar elasticidad a los biomateriales. Solo es tóxica si se calienta a altas temperaturas, pero en este caso no nos afecta, puesto que se realiza un proceso de elaboración de baja entalpía.
  
3. Vinagre: Es común su empleo en biomateriales, puesto que resulta útil en su elaboración al reducir el riesgo de la aparición de moho. Para la elaboración de las pruebas presentadas a continuación se ha usado un vinagre de vino blanco. Este se obtiene por fermentación del vino, es biocompatible y no es tóxico.

---

<sup>29</sup> ver información de cada biorresiduo en el catálogo del apartado anterior

4. Aditivos alimentarios: La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en colaboración con la Organización mundial de la salud (OMS) elabora el *Codex Alimentarius*<sup>30</sup>, que regula las normas internacionales de los alimentos, de forma que sean inocuos y de calidad para todas las personas y lugares. En este código se incluyen los aditivos alimentarios, que se clasifican en diferentes grupos. Uno de ellos hace referencia a los agentes que actúan sobre la textura (estabilizantes, espesantes, gelificantes y emulsionantes). Entre ellos se incluyen los siguientes, empleados en la investigación:
- Agar Agar: Es un polvo de alga estabilizador y espesante
  - Colágeno: Es un gelificante y estabilizador.
  - Almidón de maíz: agente espesante.
  - Goma Xantana: agente espesante, estabilizador y emulsionante.
5. Agua: Se utiliza para realizar la mezcla e integrar los ingredientes.

La metodología empleada para la investigación propia consiste en la elaboración de varias pruebas que se relatan a continuación. Cada una se detalla en una ficha que incluye los componentes empleados, la elaboración, y los resultados obtenidos. Por último, se recogen los biomateriales obtenidos de las pruebas más aptas, junto con su capacidad resistente, obtenida por pruebas realizadas a mano, respecto al agua, la flexión y la tracción, en un muestrario final de resumen.

---

<sup>30</sup> <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>

## PRUEBA 1:

### Componentes:

1. Agua: 200ml
2. Glicerina: 50 ml
3. Conchas de mejillón (en polvo): 50g
4. Piel de naranja deshidratada (troceada): 5g
5. Vinagre: 50ml
6. Agar Agar: 15g

### Elaboración:

En un recipiente se pone a hervir el agua con el resto de los elementos. Se remueve constantemente hasta que todos los componentes quedan correctamente integrados. Por último, se vierte la mezcla en los moldes. En este caso se han utilizado dos moldes, uno plano de base cuadrada de 21,5cm de lado y otro en forma de pequeños cubos de 3x3,5cm de lado y 2 cm de alto.

### Resultados:



Figura 21: Prueba 1, molde 1 (15 minutos)



Figura 22: Prueba 1, moldes 1 y 2 (1 semana)

Para las mezclas se utilizan cáscaras de mejillón en polvo, bien trituradas, pero en las muestras tiende a juntarse y a aparecer como pequeños fragmentos unidos.

Se observa que la prueba del molde 1 seca en poco tiempo. Esta muestra se somete a pruebas de flexión, pero no resiste correctamente. Debido a ello presenta puntos de rotura, que se aprecian mejor con el paso del tiempo. Además, se retrae en espesor y área.

En las pruebas del molde 2 resulta significativo observar como la cáscara de mejillón tiende a acumularse en el fondo, ocupando la totalidad volumen inferior. En la parte central queda una capa retraída con el resto de la mezcla, transparente y espesada. En la capa superior quedan los trozos de piel de naranja. De esta forma la pieza resultante adquiere un perfil irregular.

Aunque éstas secan fácilmente y en poco tiempo, tras la realización de pruebas manuales de flexibilidad y resistencia se demuestra que la prueba 1 rompe con relativa facilidad, por lo que no se considera del todo apta, mientras que en las pruebas del molde 2 el mejillón no queda correctamente integrado y tiende a desintegrarse.

## **PRUEBA 2:**

### **Componentes:**

1. Agua: 200ml
2. Glicerina: 50 ml
3. Concha de mejillón (en polvo): 25g
4. Vinagre: 50 ml
5. Colágeno: 8g

### **Elaboración:**

El proceso empleado sigue las mismas pautas que en la prueba anterior. En primer lugar, se pone a hervir el agua y se incorpora el resto de los elementos. Después se remueve constantemente para la correcta integración de los componentes. Para finalizar se vierte la mezcla líquida en los moldes, en este caso una bandeja de base plana y otro en forma de pequeños cubos de 3x3,5cm de lado y 2 cm de alto.

### **Resultados:**

Las muestras obtenidas tras este proceso no resultan viables, puesto que no es posible desmoldarlas y rompen fácilmente. No secan correctamente, por lo que no se considera adecuado utilizar solo colágeno.

### PRUEBA 3:

#### Componentes:

1. Agua: 200ml
2. Glicerina: 50 ml
3. Cáscara de huevo (en polvo): 25g
4. Piel de naranja deshidratada (en polvo): 5g
5. Vinagre: 50ml
6. Almidón: 5g
7. Colágeno: 8g

#### Elaboración:

El proceso de elaboración sigue los pasos generales. Primero se pone a hervir el agua, a la que se le van añadiendo el resto de los componentes. Después se remueve hasta integrar de la mejor manera posible el resto de los componentes. Para finalizar se vierte la mezcla líquida en el molde, en este caso una bandeja de base plana.

#### Resultados:



Figura 23: Prueba 3

Tras los resultados de la prueba anterior se decide no incorporar solo colágeno como aditivo alimentario. Se plantea volver a utilizar colágeno, añadiendo esta vez almidón bajo la intención de que este ayude con el secado de la muestra y proporcione mayor resistencia. Se sigue la hipótesis de compensar el efecto gelificante del colágeno con el efecto espesante del almidón.

La muestra resultante tarda en secar aproximadamente una semana, pero después mantiene su forma y tamaño inicial. Además, es flexible y algo elástica. Para las pruebas se recorta un fragmento redondo de la muestra original.

El resultado final es positivo, ya que se cumple lo estimado. Tiene una gran resistencia a flexión y permite ser doblada y manipulada. Se obtienen muestras viables, aptas para la elaboración de biotextiles, bioplásticos, etc.

## PRUEBA 4:

### Componentes:

1. Agua: 100ml
2. Glicerina: 30 ml
3. Conchas de mejillón (en polvo): 10,5g
4. Conchas de almeja (en polvo): 6,5g
5. Vinagre: 30ml
6. Agar Agar: 5g

### Elaboración:

Para la elaboración se sigue el proceso habitual. Primero se pone a hervir el agua. A continuación, se añade el resto de los ingredientes y se remueve hasta integrar todo. Con ello se obtiene una mezcla líquida, que, aun caliente, se vierte en los moldes. En este caso, al igual que en la primera prueba, se utilizan dos tipos diferentes. El primero es uno redondo de 6cm de diámetro y el segundo uno en forma de barras finas alargadas.

### Resultados:



Figura 24: Prueba 4, molde 1

Debido a la similitud de elementos empleados, la prueba 4 puede compararse con la prueba 1. Aunque se utilizan cáscaras de mejillón en polvo, bien trituradas, se observa que tiende a juntarse y a aparecer como pequeños fragmentos unidos en las muestras. En la prueba actual esto ocurre especialmente en la segunda muestra.

En cuanto a la muestra extraída del primer molde, es resistente pero no tiene tanta elasticidad como otras pruebas. Se observa que seca en poco tiempo, no obstante, se recomienda dejar reposar más rato para que

pueda adquirir mayor resistencia y eliminar los restos de humedad. Con el paso del tiempo, a pesar del espesante empleado, esta prueba retrae menos en comparación con otras pruebas. Se intuye que se debe a la incorporación de las conchas marinas, ya que estas tienden a ocupar todo el molde y mantener su forma original.

Por la muestra 1 de esta prueba, la bioreceta elaborada se considera apta para su aplicación en ámbitos de interiorismo, etc.

A raíz de esta prueba y también en consideración a la prueba 1, se concluye que para este tipo de biomateriales no resulta apta la utilización de moldes volumétricos. En las muestras del molde 2 resulta significativo observar como la cáscara de mejillón tiende a acumularse en el fondo, ocupando la totalidad volumen inferior. Esta capa mantiene su forma tras el secado, pero se desintegra fácilmente. El resto de la mezcla se queda en la capa superior y tiende a curvarse debido al agar.

## PRUEBA 5:

### Componentes:

1. Agua: 200ml
2. Glicerina: 50 ml
3. Piel de Plátano: 36g
4. Vinagre: 50ml
5. Agar Agar: 8g
6. Colágeno: 8g

### Elaboración:

En esta prueba se toma la decisión de incorporar mayor cantidad de residuo, en este caso piel de plátano. La elaboración comienza triturando la piel de plátano con una batidora manual. Al hacerlo sin agua se obtiene una masa densa. El proceso que sigue es el mismo que las veces anteriores. Se pone a hervir el agua y se incorpora la piel de plátano triturada junto con el resto de los elementos. Se remueve bien hasta obtener una mezcla homogénea que posteriormente se vierte en moldes de base redonda y poco espesor.

### Resultados:



Figura 25: Prueba 5

En las muestras obtenidas tras la realización de la prueba 5 se aprecia mayor cantidad de residuo, debido a la composición de la mezcla. Además, tras la observación de las pruebas anteriores, se decide utilizar colágeno y agar agar en igual medida. Se emplea la misma cantidad de ambos agentes texturizantes, bajo el planteamiento de compensar el efecto gelificante del colágeno con el efecto espesante del agar agar.

El tiempo de secado de las muestras es corto. Éstas retraen ligeramente los primeros días, pero después mantienen su forma y tamaño inicial. Además, tienen resistencia a flexión, resisten al agua y permiten ser dobladas y manipuladas.

Podemos concluir que el resultado final es positivo, puesto que las decisiones tomadas funcionan y las hipótesis planteadas se cumplen. Se obtienen muestras viables, aptas para biotextiles, usos decorativos, biombos, etc.

## **PRUEBA 6:**

### **Componentes:**

1. Agua: 50ml
2. Glicerina: 20 ml
3. Cáscara de huevo (en polvo): 12g
4. Vinagre: 10ml
5. Goma Xantana: 3g

### **Elaboración:**

El proceso empleado sigue las pautas generales. En primer lugar, se pone a hervir el agua y se incorpora el resto de los elementos. Después se remueve constantemente para la correcta integración de los componentes. Para finalizar se vierte la mezcla líquida en los moldes. En el caso actual se utiliza un molde plano.

### **Resultados:**

La muestra obtenida en la prueba 6 no es apta para su uso, ya que no seca correctamente. Por ello no se considera adecuado utilizar únicamente goma xantana.

## PRUEBA 7:

### Componentes:

1. Agua: 100ml
2. Agua: 50ml
3. Glicerina: 40 ml
4. Piel de Plátano: 70g
5. Vinagre: 10ml
6. Agar Agar: 12g

### Elaboración:

Se decide incorporar una mayor cantidad de biorresiduo, puesto que la intención de trabajo es generar nuevos biomateriales en los que predomina la presencia de estos desechos. En este caso se ha decidido apostar una técnica que difiere ligeramente del proceso habitual. En primer lugar, se tritura la cáscara de plátano con 100ml de agua. Se prueba a meter más material residual, pero mezclado con agua para se integre mejor y obtener una mezcla más homogénea. Posteriormente se pone a hervir dicha mezcla y se van añadiendo el resto de los elementos. En este punto, se cree necesario añadir 50ml más de agua. Por último, se vierte en el molde. Al igual que en la prueba 1 con la muestra 1, se ha utilizado un molde plano cuadrado de 21,5cm de lado.

### Resultados:

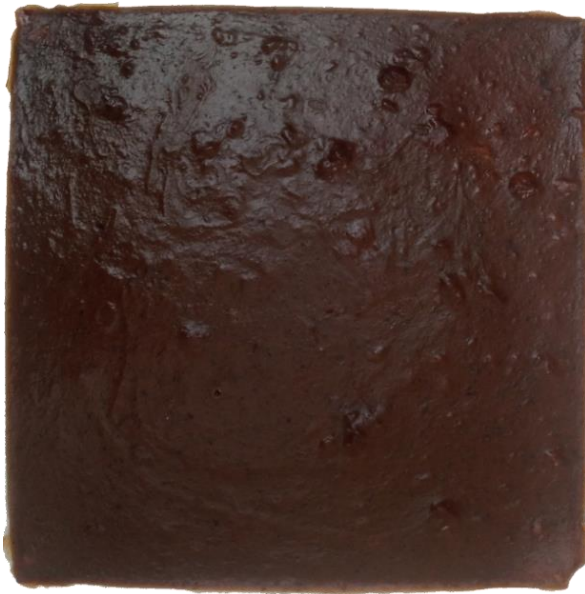


Figura 26: Prueba 7

La prueba 7 contiene una mayor cantidad de residuo orgánico, por eso adquiere el color que se muestra en la imagen.

Se emplea agar agar y como cabe esperar, la muestra seca en poco tiempo, pero queda ligeramente retraída pasados unos días. Después mantiene su forma y tamaño. Además, resiste a flexión, se puede doblar y manipular sin riesgo y es resistente al agua. En comparación con otras pruebas es más dura y resistente, pero menos flexible. Como punto negativo podemos incluir su olor inicial, que, no obstante, mejora pasados unos días.

Se concluye que el resultado final es positivo. Las decisiones tomadas funcionan de manera correcta y la muestra resultante se considera viable y apta para biotextiles, bioplásticos, usos decorativos, etc.

## PRUEBA 8:

### Componentes:

1. Agua: 200ml
2. Glicerina: 25 ml
3. Piel de Naranja: 100g
4. Vinagre: 5ml
5. Colágeno: 8g
6. Almidón: 2g
7. Agar Agar: 4g

### Elaboración:

En vista de la prueba anterior y con intención de mejorarla, esta vez se ha decidido utilizar el bagazo de la naranja por sus propiedades aromáticas. El proceso de elaboración comienza por cortar la piel de naranja, que posteriormente se deja reposar durante 30 minutos en el agua. Después esto se tritura, hasta obtener un puré, que se pone a hervir incorporando poco a poco el resto de los elementos. Se remueve bien para integrar todo y posteriormente se vierte en moldes planos de base redonda.

### Resultados:



Figura 27: Prueba 8 (inicial)



Figura 28: Prueba 8 (variación)

La prueba tarda en secar y es frágil, ya que se rompe fácilmente al ser manipulada. Sin embargo, cuenta con un punto a favor gracias a su color y su olor. Por ello, se concluye que es buena idea utilizar piel de naranja, pero no los aditivos de la mezcla en esas cantidades.

Para no perder los beneficios o puntos positivos de la prueba, se decide realizar variaciones. La que mejor funciona emplea 175g de la mezcla inicial que se pone a hervir con un poco de agua hasta obtener otra vez un puré líquido. Después se incluye 6g de agar agar y 2g de goma xantana. Por último, tras remover la mezcla, se vierte en un molde redondo, plano y pequeño. La muestra obtenida retrae considerablemente. Tarda en secar, pero con el paso de los días se vuelve más flexible y resistente.



Figura 29: Composición ordenada de muestras totales.

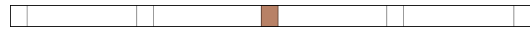
MUESTRARIO: PRUEBAS APTAS

P3 - P4 - P5 - P7

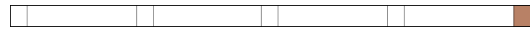
**P3. PRUEBA 3:** Agua, glicerina, cáscara de huevo, piel de naranja, vinagre, colágeno, almidón



Resistencia al agua:



Capacidad de flexión:



Capacidad de tracción:

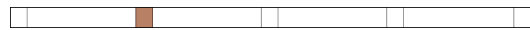


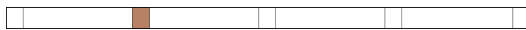
Figura 30: Pruebas aptas: Prueba 3

**P4. PRUEBA 4:** Agua, glicerina, conchas de mejillón, conchas de almeja, vinagre, agar agar

Resistencia al agua:



Capacidad de flexión:



Capacidad de tracción:

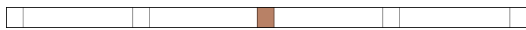


Figura 31: Pruebas aptas: Prueba 4

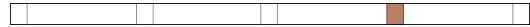
MUESTRARIO: PRUEBAS APTAS

P3 - P4 - P5 - P7

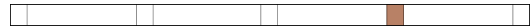
P5. PRUEBA 5: Agua, glicerina, piel de plátano, vinagre, colágeno, agar agar.



Resistencia al agua:



Capacidad de flexión:



Capacidad de tracción:

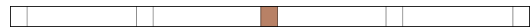
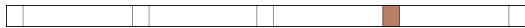


Figura 32: Pruebas aptas: Prueba 5

P7. PRUEBA 7: Agua, glicerina, piel de plátano, vinagre, agar agar

Resistencia al agua:



Resistencia a flexión:



Resistencia a tracción:

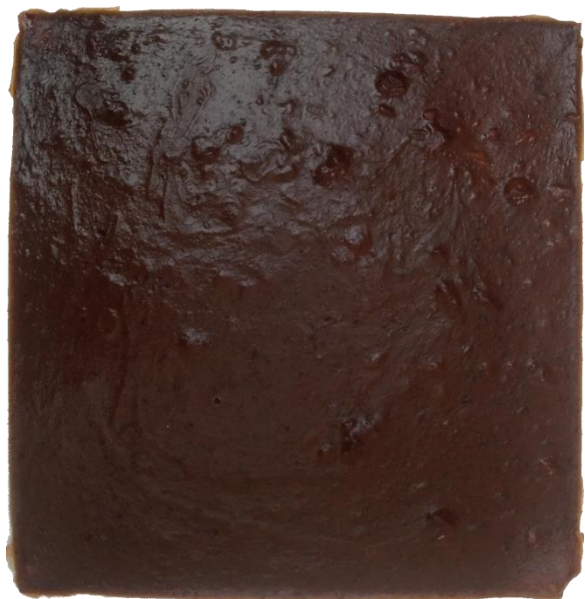


Figura 33: Pruebas aptas: Prueba 7

## 5. CONCLUSIONES

El paso del tiempo ha demostrado la viabilidad de la bioarquitectura tradicional. No obstante, en los últimos tiempos se ha desarrollado otro tipo de procedimientos bajo un concepto más futurista, que apuesta por la innovación. Asimismo, incluye nuevas técnicas como el diseño computacional o la impresión 3D, que hacen posible su progreso. Aunque se trata de un campo en una fase muy inicial y experimental, que aun requiere investigación, instituciones a nivel mundial, como el MIT Media Lab demuestran su viabilidad. Por ello, tras el análisis realizado en el trabajo, y en vista de los proyectos, investigaciones y aportaciones existentes, se intuye en la bioarquitectura innovadora un gran potencial, con capacidad de proyección a futuro.

Bajo esta premisa surgen los biomateriales como una oportunidad de desarrollo. En concreto, destacan aquellos obtenidos a partir de residuos orgánicos. El presente documento muestra una recopilación de algunos, que sin embargo podría extenderse a muchos otros biorresiduos. En este caso se han tratado los de origen alimentario y de cocina, pero el estudio podría extenderse a aquellos procedentes de otras categorías, como la poda o jardinería. De los casos analizados a través del catálogo comparativo en el trabajo, se recapitulan las siguientes ideas generales. A grandes rasgos, se refuerza la idea de la necesidad de aumentar e invertir en investigación institucional, puesto que las referencias se sitúan a pequeña escala, con profesionales independientes, *start ups* o pequeñas empresas. Se evidencia la importancia de contar con recursos que impulsen el desarrollo de este ámbito. Debido a ello, los resultados obtenidos todavía no alcanzan con éxito la escala arquitectónica o constructiva. Por norma general, los productos se engloban en una escala doméstica, de uso interior. Por otro lado, se considera importante la necesidad de un paso intermedio que mejore sus propiedades, como, por ejemplo, la resistencia al agua.

Por esto, se plantea como futura línea de investigación la mejora del mercado de objetos elaborados con biomateriales obtenidos a partir de residuos orgánicos, lo cual implica un estudio en profundidad del tema. Se considera positivo todo avance técnico en el conocimiento de esta área. Se sugiere que el siguiente paso sea enfocar esta investigación a la práctica arquitectónica, estudiar su viabilidad, producción, aplicaciones, usos, etc. Es un proceso lento, que requiere captar el interés general además de recursos, pero cuyas implicaciones presentan grandes beneficios a nivel medioambiental.

Numerosas ventajas avalan la obtención de biomateriales a partir de biorresiduos. Estos conllevan un proceso de elaboración de baja entalpía, que no emite gases tóxicos ni resulta perjudicial para la salud o el medio ambiente. Para su producción se toman como materias primas los desechos orgánicos, de forma que se evita su acumulación en los vertederos. Además, no requiere grandes maquinarias industriales ni supone un malgasto de recursos. Se pueden utilizar las nuevas tecnologías, como los brazos robóticos de impresión 3D dirigido por ordenador, con este fin. De esta manera, el desperdicio generado es prácticamente nulo. Por todo ello, este proceso se adapta a las leyes de economía circular y los principios de la arquitectura regenerativa.

La hipótesis planteada en el trabajo, en la que se estudia la viabilidad de aplicación de los biorresiduos, sigue estos criterios. Se apuesta por el aprovechamiento de estos desechos generados por el sector alimentario y gastronómico para convertirlos en elementos útiles bajo la expresión de *¡NO TIRAR!* Es esta idea la que lidera la investigación aportada, de la que se concluyen una serie de ideas generales, que a su vez contribuyen a líneas futuras de investigación.

En primer lugar, se trata de un proceso experimental que conlleva una elaboración artesanal. Es un sistema de prueba y error. En el presente trabajo se ha desarrollado un fragmento de una investigación abierta, que, sin embargo, puede abarcar mucho más contenido. En caso de su continuación, se recomienda ampliarla en cuanto al conocimiento en torno a las propiedades y aplicaciones posibles, así como probar con más materiales residuales, especialmente aquellos que presenten un alto porcentaje de los desechos orgánicos.

En referencia a los componentes empleados para la elaboración de los biomateriales, el trabajo evidencia que los biorresiduos resultan más aptos correctamente limpios y secos y, en caso de la piel de frutas, como naranja o plátano, deshidratados. De esta manera se pueden eliminar los restos de materia orgánica, procedente del fruto de su interior, y evitar el mal olor. En caso contrario, también parece más adecuado emplear cítricos por sus propiedades aromáticas, como se refleja en la prueba 8. Asimismo, es preferible no utilizar cantidades desproporcionadas de biorresiduos en comparación con el resto de los componentes, puesto que se observa que en estos casos los materiales producidos resultan más blandos y frágiles. Una futura línea de investigación consiste en trabajar en este aspecto y averiguar cómo conseguir que estos biomateriales puedan contener mayor porcentaje de residuo orgánico y resultar aptos. En cuanto a los aditivos alimentarios, el agar agar ha resultado ser una apuesta segura, que, aunque contrae las muestras, funciona correctamente si se controlan las cantidades y su retracción. Las pruebas en las que se ha utilizado este componente tienen mayor resistencia y consistencia. A su vez, al igual que la goma xantana, el colágeno usado individualmente, no proporciona un resultado viable. Sin embargo, se ha demostrado que, si se combina el colágeno con el almidón, como en la prueba 3, o con el agar agar, en igual proporción, como en la prueba 5, se consiguen biomateriales viables con buenas propiedades. La primera mezcla da como resultado un material mucho más flexible y elástico, mientras que la segunda aporta mayor rigidez y consistencia.

## 6. BIBLIOGRAFÍA:

- APROMAR OPP30. 2021. *Informe 2021. La Acuicultura En España*.
- BALBOA, Catalina Hermida and Manuel Domínguez Somonte. 2014. "Economía Circular Como Marco Para El Ecodiseño: El Modelo ECO-3." *Informador Técnico* 78 (1): 82-90.
- BENYUS, Janine M. 1997. *Biomimicry : Innovation Inspired by Nature*. New York: New York : Harper Perennial.
- BERMEO GARCÍA, Clinton Ignacio. 2021. "Aplicaciones Actuales En Las Técnicas Del Compostaje a Partir De Residuos Sólidos Urbanos. Revisión Sistemática 2021." Tesis doctoral. Universidad César Vallejo .
- CERUTTI, Mariano and Fernando Neumayer. 2004. "Introducción a La Obtención De Aceite Esencial De Limón." *Invenio: Revista De Investigación Académica* (12): 149-155.
- CASTAÑEDA, María Teresita; ISGLEAS, Verónica, JENKO, Carolina; LESA, Claudia; MAFFIOLY, Rodolfo; OLIVA, Leticia; E. STECHINA, Damián. 2009. "Influencia Del Tipo De Acondicionamiento Y Grado De Deshidratación Final En Las Características Organolépticas De Cáscara De Naranja Ecurrida." U.N.E.R.
- CHAFER, María Teresa. 2000. "Deshidratación Osmótica De Corteza De Naranja (Valencia Late) Y Mandarina (Satsuma)." Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.
- ZAMBRANO DE LA TORRE, Roberth; BARREIRO MENDOZA, Gema Stefany. 2022. "Uso De La Cáscara De Maní En Paneles Prefabricados Para Viviendas De Interés Social En Manabí." *Sinapsis: La Revista Científica Del ITSUP* 21 (1): 19.
- FERNÁNDEZ, M. S. ; ARIAS, J. L.. 2000. "La Cáscara Del Huevo: Un Modelo De Biomineralización." *Monografías De Medicina Veterinaria* 20 (2).
- FORESTIERI, Giulia; OCHOA T, Laura D. 2019. "Mortero Sostenible Con Cáscara DeHuevo." *Investigación Formativa En Ingeniería*: 128.
- Gobierno de España. 2023. *Análisis De La Campaña De Cítricos 2022/2023*. 2023. Edita: Ministerio de Agricultura, Pesca y. Alimentación.
- . . 2022. *Cifras del sector de Frutas y Hortalizas. Actualizado a 2021*. mapa.gob.es Edita: Subdirección General de Frutas y Hortalizas y Vitivinicultura.
- . . 2021. *Informe Anual De Indicadores Agricultura, Pesca Y Alimentación 2021*. mapa.gob.es. Edita: Ministerio de Agricultura, Pesca y. Alimentación.
- . . 2020. *Memoria Anual De Generación Y Gestión De Residuos. Residuos De Competencia Municipal 2020*. miteco.gob.es. Edita: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- "EL SECTOR DE LA AVICULTURA DE PUESTA EN CIFRAS: Principales Indicadores Económicos", Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios.
- IBÁÑEZ, F., Paloma Torre, and Aurora Irigoyen. 2003. "Aditivos Alimentarios." *Área De Nutrición Y Bromatología, Universidad Pública De Navarra*: 3-5.
- MAHLKE, Friedemann; MINKE, Gernot. 2015. *De Las Tensoestructuras a La Bioarquitectura. : La Obra Del Arquitecto Gernot Minke*. Teruel: Teruel : EcoHabitar.
- MEDINA-SÁNCHEZ, Javier. 2021. "Conchas Marinas: Exquisitos Termómetros." *Revista Digital Universitaria* 22 (2).

- NAKHLI EMHANDI, Nora. 2021. *Bioarquitectura Y Fabricación Digital. Ecología Material Según La Metodología De Neri Oxman*, editado por Eduardo Javier Gómez Pioz E.T.S. Arquitectura (UPM).
- LAFUENTE ARANDA, Gustavo. 2017. *Glicerol: Síntesis Y Aplicaciones*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Educación a Distancia (España).
- ORELLANA-ALVEAR, Boris; LÓPEZ-HIDALGO, Andrés; MALDONADO, Juan; VANEGAS, Vanessa. 2017. "Fundamentos De La Biofilia Y Neuroarquitectura Aplicada a La Concepción De La Iluminación En Espacios Físicos." *Maskana* 8: 111-120.
- OXMAN, Neri. *Abstract: El Arte Del Diseño. Bioarquitectura: Neri Oxman*. Netflix. 2019.
- OXMAN, Neri. *Design at the Intersection of Technology and Biology*. Charla TED. 2015.
- PECEÑO, Begoña. 2021. "Reciclado De Residuos De Conchas Procedentes De La Industria Acuícola En Distintos Materiales De Construcción: Evaluación Técnica Y Ambiental Como Árido En Barreras Acústicas, Y Como Producto Para La Protección." Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- SÁNCHEZ CONTRERAS, María de los Angeles; GONZÁLEZ FLORES, Tania; AYORA TALAVERA, Teresa del Rosario; EVANGELISTA MARTÍNEZ, Zahaed; PACHECO LÓPEX, Neith Aracely. 2017. "¿ Qué Son Los Microbios?" *Ciencia-Academia Mexicana De Ciencias* 68 (2): 10-17.
- URBINA TRUJILLO, Violeta. 2012. "Análisis Bromatológico Del Bagazo De La Naranja." Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez .
- CODEX ALIMENTARIUS. codex Stan 192, 1995. *Norma General para los Aditivos Alimentarios*, 2015.
- Ley 7/2022, De 8 De Abril, De Residuos Y Suelos Contaminados Para Una Economía Circular. (2022): <https://www.boe.es/eli/es/l/2022/04/08/7/con>.
- Webinar. 2023. "El futuro del Compostaje en la Economía Circular"
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Biomaterial> (último acceso:Abril 2023).
- <https://www.di-conexiones.com/biomemetica-biomimicry-innovacion-inspirada-por-la-naturaleza/> (último acceso:Mayo 2023).
- <https://biomimicry.net/> (último acceso:Mayo 2023).
- <https://biomimicry.net/what-is-biomimicry/> (último acceso:Mayo 2023).
- <https://avinews.com/la-cascara-de-huevo-estructura-formacion-que-factores-afectan-a-su-calidad/> (último acceso:Mayo 2023).
- <https://designboom.es/videos/the-eggshell-project-fabricacion-digital-por-manufactura-21-02-2023/> (último acceso:Mayo 2023).
- <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/avicola-de-puesta/> (último acceso:Mayo 2023).
- <https://macronaturaleza.com/sin-categoria/las-conchas-marinas-gasteropodos-y-bivalvos/> (último acceso:Mayo 2023).
- <https://designweekmexico.com/> (último acceso:Mayo 2023).
- <https://ecolec.es/informacion-y-recursos/economia-circular/> (último acceso:Abril 2023).
- <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/economia-circular/sostenibilidad-arquitectura-regenerativa> (último acceso:Mayo 2023).

<https://carloratti.com/project/feel-the-peel/> (último acceso:Mayo 2023).

<https://www.despiertaymira.com/index.php/2020/01/feel-the-peel-la-exprimidora-italiana-gigante-con-desperdicio-cero/> (último acceso:Mayo 2023).

<https://garbiker.bizkaia.eus/es/contenedor-marron> (último acceso:Mayo 2023).

<http://gernotminke.gernotminke.de/> (último acceso:Abril 2023).

<https://www.ie.edu/es/universidad/acerca-de/claustro/gianluca-pugliese/> (último acceso:Mayo 2023).

<https://www.grown.bio/?v=04c19fa1e772> (último acceso:Mayo 2023).

[https://z-p15.www.instagram.com/grown\\_bio/](https://z-p15.www.instagram.com/grown_bio/) (último acceso:Mayo 2023).

<http://www.larevista.ec/actualidad/vivienda-y-decoracion/ken-yeang-la-arquitectura-debe-imitar-la-naturaleza> (último acceso:Mayo 2023).

<https://www.instagram.com/krilldesignmilano/?hl=es> (último acceso:Mayo 2023).

<https://www.krilldesign.net/> (último acceso:Mayo 2023).

<https://www.neomatique.es/materiales/lowpoly> (último acceso:Mayo 2023).

<https://www.instagram.com/manufacturamx/> (último acceso:Mayo 2023).

[https://es.wikipedia.org/wiki/Instituto\\_de\\_Tecnolog%C3%ADa\\_de\\_Massachusetts](https://es.wikipedia.org/wiki/Instituto_de_Tecnolog%C3%ADa_de_Massachusetts) (último acceso:Abril 2023).

[https://es.wikipedia.org/wiki/MIT\\_Media\\_Lab](https://es.wikipedia.org/wiki/MIT_Media_Lab) (último acceso:Abril 2023).

<https://www.media.mit.edu/> (último acceso:Abril 2023).

<https://www.media.mit.edu/groups/mediated-matter/overview/> (último acceso:Abril 2023).

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/Memoria-anual-generacion-gestion-residuos.aspx> (último acceso:Mayo 2023).

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/biorresiduos/> (último acceso:Mayo 2023).

<https://nagami.design/es/> (último acceso:Mayo 2023).

<https://www.mapa.gob.es/app/materialvegetal/fichamaterialvegetal.aspx?idficha=12> (último acceso:Mayo 2023).

[https://es.wikipedia.org/wiki/Neri\\_Oxman](https://es.wikipedia.org/wiki/Neri_Oxman) (último acceso:Abril 2023).

<https://www.instagram.com/orgasnic.art/?hl=es> (último acceso:Mayo 2023).

<https://www.orgasnic.art/> (último acceso:Mayo 2023).

<https://oxman.com/> (último acceso:Abril 2023).

<https://parley.tv/> (último acceso:Mayo 2023).

<https://www.dezeen.com/2012/10/23/protohouse-by-softkill-design/> (último acceso:Mayo 2023).

[https://dle.rae.es/.](https://dle.rae.es/) (último acceso:Mayo 2023).

<https://dle.rae.es/biomaterial?m=form> (último acceso:Mayo 2023).

<https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius> (último acceso:Mayo 2023).

[https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/informacion\\_general.aspx](https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/informacion_general.aspx) (último acceso:Mayo 2023).

<https://linktr.ee/lauramessing> (último acceso:Mayo 2023).

<https://www.instagram.com/lauramessing/?hl=es> (último acceso:Mayo 2023).

[https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/limon\\_tcm30-102531.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/limon_tcm30-102531.pdf) (último acceso:Mayo 2023).

<https://moebiodesign.com/> (último acceso:Mayo 2023).

[https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/platano\\_tcm30-102883.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/platano_tcm30-102883.pdf) (último acceso:Mayo 2023).

## 7. PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES:

- Figura 0: Diseño de portada. Elaboración propia.
- Figura 1: Gernot Minke: Residence, Eco-village Kassel, Germany 1985. Fuente: <http://gernotminke.gernotminke.de/projects/>
- Figura 2: MIT Media Lab Mediated Matter: Aguahoja, 2014-2020. Fuente: <https://www.re-thinkingthefuture.com/2020/12/03/a2287-aguahoja-i-by-neri-oxman-organic-3d-printing/>
- Figura 3: Niccolo Casas, Parley for the Oceans y Nagami design: Plasticity, 2021. Imagen por Giacomo Cousa. Fuente: <https://parley.tv/initiatives/plasticity-venice-biennale>
- Figura 4: Softskill Design: Protohouse, 2012. Imagen por Julia Kubisty. Fuente: <https://www.dezeen.com/2012/10/23/protohouse-by-softskill-design/>
- Figura 5: Grown bio: The Growing Pavilion, 2019. Fuente: <https://arquitecturaviva.com/obras/the-growing-pavilion-eindhoven>
- Figura 6: MIT Media Lab Mediated Matter: Silk Pavilion I, 2013. Fuente: <https://www.media.mit.edu/projects/silk-pavilion/overview/>
- Figura 7: estudio Carlo Ratti Associati (CRA) y Eni: Feel the Peel, 2019. Fuente: <https://www.despiertaymira.com/index.php/2020/01/feel-the-peel-la-exprimidora-italiana-gigante-con-desperdicio-cero/>
- Figura 8: Orgasnic.art: lámpara Maresme (espina lamp). Fuente: <https://www.orgasnic.art/producto/maresme-espina-lamp/>
- Figura 9: Orgasnic.art: lámpara Maresme (paloma lamp). Fuente: <https://www.orgasnic.art/producto/maresme-paloma-lamp/>
- Figura 10: Orgasnic.art: Terrazo Marino. Fuente: extraído a partir del Informe de materiales aportado por Orgasnic.art.
- Figura 11: Orgasnic.art: Cactus Collection. Fuente: <https://www.orgasnic.art/decoracion/>
- Figura 12: Orgasnic.art: Cactus Collection. Fuente: <https://www.orgasnic.art/decoracion/>
- Figura 13: MANUFACTURA: Eggshell Column. Foto de Design Week 2022. Fuente: <https://designboom.es/videos/the-eggshell-project-fabricacion-digital-por-manufactura-21-02-2023/>
- Figura 14: MANUFACTURA: Eggshell Column. Imagen por Enrique Aguilar. Fuente: <https://designboom.es/videos/the-eggshell-project-fabricacion-digital-por-manufactura-21-02-2023/>
- Figura 15: Krill Design: Lámpara. Fuente: <https://www.instagram.com/krilldesignmilano/?hl=es>
- Figura 16: Krill Design: Jarrón. Fuente: <https://www.instagram.com/krilldesignmilano/?hl=es>
- Figura 17: Krill Design: Reloj. Fuente: <https://krilldesign.net/products/oasi>
- Figura 18: Krill Design: Revistero. Fuente: <https://krilldesign.net/products/falesia>
- Figura 19: Laura Messing: Biocuero. Fuente: <https://www.instagram.com/p/CqxvfJhAguY/>
- Figura 20: MOEBio Design: Collar. Fuente: <https://moebiodesign.com/productos/?mpage=4>
- Figura 21: Prueba 1, molde 1 (15 minutos). Imagen de elaboración propia
- Figura 22: Prueba 1, moldes 1 y 2 (1 semana). Imagen de elaboración propia
- Figura 23: Prueba 3. Imagen de elaboración propia
- Figura 24: Prueba 4. Imagen de elaboración propia
- Figura 25: Prueba 5. Imagen de elaboración propia
- Figura 26: Prueba 7. Imagen de elaboración propia
- Figura 27: Prueba 8 (inicial). Imagen de elaboración propia
- Figura 28: Prueba 8 (variación). Imagen de elaboración propia

- Figura 29: Composición ordenada de muestras totales. Imagen de elaboración propia
- Figura 30: Pruebas aptas: Prueba 3. Imagen de elaboración propia
- Figura 31: Pruebas aptas: Prueba 4. Imagen de elaboración propia
- Figura 32: Pruebas aptas: Prueba 5. Imagen de elaboración propia
- Figura 33: Pruebas aptas: Prueba 7. Imagen de elaboración propia

