

Artículo de Investigación

El prototipado como herramienta metodológica en la práctica del diseño

Prototyping as a methodological tool in design practice

Luis García Lara¹: Universidad Católica de Temuco, Chile.

lgarcia@uct.cl

Lucas Helle Pesot: Universidad Católica de Temuco, Chile.

lhelle@uct.cl

Fecha de Recepción: 17/06/2024

Fecha de Aceptación: 05/08/2024

Fecha de Publicación: 26/09/2024

Cómo citar el artículo:

García Lara, L. y Helle Pesot, L. (2024). El prototipado como herramienta metodológica en la práctica del Diseño [Prototyping as a methodological tool in design practice]. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-17. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-926>

Resumen:

Introducción: En la carrera de Diseño en la Universidad Católica de Temuco encontramos el curso de Prototipado Rápido, curso que adquiere un carácter teórico/práctico para introducir a los estudiantes en el ámbito del prototipado análogo-digital. De la versión 2024-1 expondremos aquí el segundo caso de estudio: la pala de remo. **Metodología:** La pala de remo es un objeto que encierra diversas complejidades, entre ellas la geometría de superficies y formas libres y la fabricación análogo-digital de este tipo de elementos. Para ello hemos propuesto una metodología basada en el prototipado con estudio de casos, donde se tomaron 40 casos de palas de remo ofrecidas en el mercado, analizando sus características formales y prestaciones, enfocando a la disciplina específica del remo para la cual se desarrollaron. **Resultados:** Los resultados ofrecen una gran diversidad de aproximaciones a la resolución de la forma. Así mismo, al ofrecer algunas alternativas en las posibilidades de fabricación, los estudiantes han podido experimentar algunos procesos análogo-digitales, lo cual colabora en la formación de un criterio para resolver proyectos. **Discusión:** La discusión se propone sobre la combinación de técnicas de prototipado análogo con el prototipado digital, jugando en porcentajes desiguales según el tipo de proyecto a desarrollar.

Palabras clave: prototipado rápido; fabricación digital; moldajes; grasshopper; Araucanía; fabricación aditiva; fabricación sustractiva; manufactura digital.

¹ Autor Correspondiente: Luis García Lara. Universidad Católica de Temuco (Chile).

Abstract:

Introduction: In the Design studies at the Catholic University of Temuco we find the Rapid Prototyping course which acquires a theoretical/practical character to introduce students in the field of analog-digital prototyping. From the 2024-1 version we will present here the second case study: the design and fabrication of paddle. **Methodology:** The rowing paddle is an object that involves several complexities, among them the geometry of surfaces and free forms and the analog-digital fabrication of this type of element. For this purpose, we have proposed a methodology based on prototyping with case studies, where 40 cases of rowing blades offered in the market were taken, analyzing their formal characteristics and performance, focusing on the specific rowing discipline for which they were developed. **Results:** The results offer a great diversity of approaches to the resolution of the form. Likewise, by offering some alternatives in the manufacturing possibilities, students have been able to experience some analog-digital processes, which collaborates in the formation of a criterion to solve projects. **Discussion:** The discussion is proposed on the combination of analog prototyping techniques with digital prototyping, playing in unequal percentages according to the type of project to be developed.

Keywords: rapid prototyping; digital fabrication; molding; grasshopper; Araucanía; additive manufacturing; subtractive manufacturing; digital manufacturing.

1. Introducción

En el itinerario formativo de la carrera de Diseño en la Universidad Católica de Temuco se inserta el curso de Prototipado Rápido, curso que adquiere un carácter teórico/práctico para introducir a los estudiantes en el ámbito del prototipado análogo-digital. Siendo este el último curso de la línea disciplinar de Representación de la Forma, línea disciplinar que inicia con cursos de Representación Análoga, pasando por la representación de objetos bidimensionales y tridimensionales en un entorno digital, culminando con el prototipado, el cual involucra técnicas de fabricación análogas y digitales, en una combinación más orientada a la experimentación en los procesos productivos que habilite a los estudiantes en la construcción de unos criterios basados en la fabricación y los flujos de trabajo, y no necesariamente en los resultados, siendo este un punto diferenciador y particular que nos identifica frente a otras ofertas formativas, en las cuales se hace uso específico de equipamiento de control numérico computarizado (CNC), con ejercicios previamente comprobados y asegurando resultados fotogénicos, orientados a la comunicación de la producción, pero, que bajo nuestra perspectiva, se desvía del verdadero desafío del Prototipado, coartando la reflexión intelectual y el aprendizaje de habilidades cognitivas, a las cuales los estudiantes, luego profesionales del diseño, se verán necesariamente enfrentados. Bajo esta premisa experimental, exploratoria y análogo/digital, el curso mismo es un prototipo que evoluciona en cada versión y que propone una estrecha vinculación entre lo digital y lo análogo, siempre planteando nuevas materialidades a explorar e integrando nuevos procesos (McElroy, 2016), lo cual también exige a los académicos y ayudantes del curso, sometiéndose a la profundización de ciertos ámbitos que forman el extenso, contemporáneo y diariamente actualizado mundo del prototipado. Ejemplos de la vinculación virtuosa entre lo digital y lo análogo los podemos encontrar extensamente en los pabellones de arquitectura, donde algunos de ellos se diseñan digitalmente utilizando algoritmos que exigen la fabricación automatizada como proceso de materialización, con algunas actuaciones análogas (Thomsen y Tamke, 2016).

Para la versión del 2024-1 se han propuesto dos ejercicios, el rediseño de sillín de bicicletas y el rediseño de una pala de remo. En este artículo nos enfocamos en el segundo caso de estudio: pala de remo.

1.1. Definiciones de Prototipado y Prototipado Rápido

¿Cuál es el significado del término prototipo? ¿Qué es prototipado? ¿A qué nos referimos con Prototipado Rápido? Estas son algunas de las interrogantes que se plantea resolver a través del curso de prototipado rápido, pero no desde su origen epistemológico, sino más bien internalizando el concepto a través del hacer. Aun así, presentamos aquí la definición española y anglosajona para este término.

Según la definición de la Real Academia Española, prototipo es: “Primer ejemplar de una cosa, que sirve como modelo para hacer o fabricar otras iguales” (RAE, 2019).

Según la editorial Oxford University Press, *prototype* es:

A rudimentary working model of a final product in a test market, usually built for demonstration purposes or as part of the development process. The process involves creation of a basic version, testing and reworking as necessary until an advanced working version is finally created and used as the model for the final product. (Oxford, 2024)

De las definiciones de la RAE y Oxford podemos comprender que la palabra prototipo está íntimamente ligada a la palabra creación, y también a lo nuevo. Así, nuestra definición y significado de prototipado llevado al ámbito específico del diseño y sobre la cual basamos este curso, podríamos afirmar que el prototipo es, o son: las aproximaciones formales análogas y digitales por medio de las cuales delimitamos la creación de lo nuevo. Estos márgenes que se van construyendo para dar forma al prototipo son iterativos, flexibles y adaptables, lo cual ofrece ciertas libertades al momento del hacer, por ello, la práctica del prototipo no es necesariamente una ejecución lineal de procedimientos, sino que con cada paso y sus aproximaciones o resultados estamos en libertad de reescribir el procedimiento e iterar nuevamente. Como toda práctica de creación está abierta a situaciones de contexto como elementos conceptuales que trazan una línea de ejecución coherente a lo que se desarrolla.

Enfocando en el punto de vista del diseño y la definición que hemos construido tras tres versiones del curso de prototipado rápido, en tres años consecutivos, nos parece adecuado pensar que el concepto de prototipo nos permite separar un problema de diseño en diversas etapas o fases, o aproximaciones, evaluando sus características por separado en cada una de ellas, involucrando el mínimo de tiempo posible. El prototipo nos ayuda a manejar ese alto grado de incertidumbre frente al lienzo en blanco, para luego entender y proponer diversas aproximaciones para cercar y descubrir una aproximación que en cierto grado interpreta y resuelve nuestra solución. Otro aspecto importante del prototipado es dar forma a nuestras ideas y comunicarse con la audiencia, sean estos usuarios o evaluadores.

Algo que, para los académicos del curso, se ha mantenido en la discusión es la validación externa en cada etapa de desarrollo del prototipo, esto, principalmente por tiempo, ya que los estudiantes llevan adelante una cantidad de cursos importantes, y la etapa de validación externa consumiría gran parte de este tiempo, por lo cual, nuestros prototipos raramente salen del entorno del laboratorio, cuestión que delegamos como tarea al taller de proyectos de diseño como curso medular de la carrera de diseño.

Las interrogantes con las cuales abrimos el punto 1.1. y con orientación al diseño, principalmente de producto, están en cierta medida respondidas de la mano de autores como Kathryn McElroy en su *Prototyping for Designers* del 2016, donde la autora ofrece una aproximación a la definición de prototipo y ¿por qué hacerlos? redactando tres

aproximaciones de la justificación de la creación de prototipos, siendo estas: probar, comunicar y defender el proyecto (McElroy, 2016, p. 17). McElroy también clasifica el prototipo en lo que ella denomina como “fidelidad” del prototipo (McElroy, 2016, p. 39).

1.1.1. Prototipos según fidelidad (McElroy, 2016, p. 39)

Aquí la autora clasifica la fidelidad del prototipo según algunas de las características abordadas en cada etapa del desarrollo, así el de menor definición o que aborda una menor cantidad de características, podríamos decir las esenciales, será el prototipo de baja fidelidad. Esta comprueba un aspecto del diseño, es barato e involucra un mínimo conocimiento específico técnico (McElroy, 2016). Así, McElroy define tres niveles y cinco dimensiones para la fidelidad del prototipo, siendo los niveles: bajo, medio y alto con todas sus combinaciones y para las dimensiones: Visual, amplitud, profundidad, interactividad y modelo de datos (McElroy, 2016, p. 40).

1.2. Técnicas de prototipado digital CAD

1.2.1. Dibujo tradicional CAD

El dibujo CAD (*Computer Aided Design*) o Diseño Asistido por Computador se origina desde dos enfoques, los cuales además afirman las diferencias conceptuales e industriales entre Norteamérica y Europa. Así fue como la iniciativa europea se gesta bajo el alero de la industria del transporte, en Francia, donde Renault y Dassault Systems con Catia vinculan representación de superficies complejas y su fabricación CNC. Aquí el ingeniero francés Pierre Bezier tiene una participación relevante en la generación de las curvas bézier y cómo esta representación matemática luego es traspasada a las superficies bézier, abriendo un amplio campo de exploración que luego también es adoptado por las técnicas de representación digital de formas complejas con las NURBS o -Non Uniform Bezier Surfaces-.

Mientras tanto en Norteamérica el MIT llevaba a cabo la investigación a través de la cual creó un software y una interfaz capaz de representar formas geométricas en un entorno digital. De la mano de Ivan Sutherland y el MIT surge SAGE, y su resultado impacta a toda la industria e ingeniería norteamericana.

1.2.2. Dibujo con software paramétrico y/o árbol de geometría

Aquí nos parece correcto explicitar los softwares que los mismos autores han utilizado en su vida profesional y que luego han sido definidos para la implementación en los cursos de diseño, por diversos aspectos que mencionaremos brevemente. De los programas de dibujo CAD que se enfocan en geometrías de sólidos, con restricciones explícitas y árbol de geometría, con lo cual vigilan la correcta generación de formas tridimensionales orientadas a la fabricación, nuestro equipo ha decidido utilizar Fusion360®. Los motivos principales son el contar con las licencias en nuestros laboratorios, las cuales pertenecen a la empresa norteamericana Autodesk®, ampliamente esparcido por la industria de la ingeniería y el producto. Fusión360®, teniendo una interfaz amigable para quien se inicia en el modelado de formas por computador, resuelve una interfaz sencilla con una calidad impecable en cuanto a los sólidos para fabricación, a diferencia de algunos programas cuyos resultados pueden ser similares, sin embargo, su interfaz o el alto valor en sus licencias los mantiene de uso exclusivo en industrias como la aeronáutica o el diseño de transporte, nos referimos aquí a Catia®, Solidworks®, por dar algunos ejemplos.

1.2.3. Programación con lenguaje gráfico

Con respecto a esta interfaz, que, si bien ya no parece tan novedosa, siendo reemplazada por interfaces que utilizan modelos de inteligencia artificial los cuales nos permiten comunicarnos con el computador a través de -NLP-, nosotros nos decantamos por el uso de Grasshopper® sobre Rhinoceros®. Estos softwares amplifican las funcionalidades de un modelador CAD tradicional, permitiéndonos, a través de la interfaz de programación gráfica, comunicarnos con otros equipos, realizar simulaciones como: CFD, FEA, entre otros.

1.3. Técnicas de prototipado y fabricación automatizada / Análoga

1.3.1. Sustractivas

Las tecnologías de control numérico computarizado para sustracción de material son comúnmente usadas en las escuelas de diseño. Existiendo programas que facilitan la generación de los códigos geométricos o códigos G, los cuales son interpretados por las máquinas como trayectorias. La composición del código G en cuanto a trayectorias están compuestos por puntos en el espacio en la parte central del código, en el párrafo inicial están las instrucciones genéricas de unidades y ubicación inicial, así como instrucciones específicas de cada máquina como: temperatura, velocidad de giro y otros valores. En el párrafo final o de cierre están las instrucciones de finalización de la ubicación del cabezal, así como también algunas instrucciones específicas para cada máquina. Todo esto es fácilmente redactado gracias a los programas CAM, los cuales traducen una información bidimensional o tridimensional en estrategias de fabricación.

En la actualidad la innovación en esta área está enfocada en las estrategias de generación y optimización de códigos de fabricación (G Code), e incluso la combinación y generación de nuevas herramientas que utilizan las máquinas previamente diseñadas para la sustracción de material, pero con un cabezal diseñado para una operación específica (Kumar *et al.*, 2019).

1.3.2. Fabricación Aditiva (FA)

Con respecto a la fabricación aditiva proponemos aquí la tesis desarrollada por la Arquitecta Marta Male-Aleman, leída en la Universidad Politécnica de Cataluña el año 2015. En esta, Male-Aleman profundiza en las técnicas de fabricación aditiva desde el estado inicial de la tecnología hasta la actualidad con propuestas experimentales. Así es como Male-Aleman (2015) aseguran que:

Como lo hicieron el PC e Internet en materia de información y comunicación, la Fabricación Aditiva (FA) está revolucionando los procesos de diseño y fabricación, abriendo un nuevo paradigma de producción que genera cambios e innovaciones relevantes en muchos ámbitos. Su impacto actual en otros sectores sugiere que la FA tiene igual potencial para transformar los procesos productivos de la arquitectura y de la construcción. (p. 3)

Para nosotros, la fabricación aditiva abrió un campo de desarrollo y exploración inagotable (Kumar *et al.*, 2019) Sin embargo, creemos que el real potencial está en la investigación de materiales depositables donde deberíamos concentrar los esfuerzos, siempre con una constante sustentable y la diversidad de trayectorias optimizadas que podemos proponer, añadiendo componentes como resistencia de materiales, crecimiento o regeneración si pensamos que en el diseño del material podemos involucrar organismos vivos que puedan crecer después de ubicados en su posición intermedia.

1.3.3. Generación de moldes para vaciados

Hallgrimsson (2012) en el capítulo sobre principios y elección de moldes, expone de manera clara ciertas reglas que debemos contemplar al momento de la producción de moldes en etapas de prototipado. Resaltando aquí también, y como experiencia del curso de prototipado, que muchas veces el molde en sí mismo es el resultado propuesto. No siendo este nuestro caso, ya que no pretendemos realizar un molde para luego obtener infinitas copias de la forma, sino más bien tantear el uso de moldes para entender el concepto de positivo-negativo en la producción de la forma. Más importante que esto, nos enfocamos en que la producción del molde no pierda la complejidad de la forma proyectada en el ambiente digital. Ahora bien, en algunos casos este fue justamente el resultado, al no controlar la carga de materiales y otros aspectos, muchas veces el molde no se copia con exactitud, perdiendo la fortaleza del diseño digital. Algunos otros resultados si lograron producir un molde fiel a la forma del positivo, y con ello validar el proceso.

2. Metodología

La pala de remo es un objeto que encierra diversas complejidades, por lo cual nos sirve como caso de estudio. La primera complejidad es el diseño y modelado de su geometría, siendo esta clasificada como geometría de formas libres; La segunda complejidad de este caso de estudio es la simulación, siendo el cálculo de la dinámica de fluidos necesario para un correcto desempeño del objeto propuesto; y la tercera complejidad se refiere a la fabricación análogo-digital de este tipo de elementos. Para ello hemos propuesto una metodología basada en el prototipado con estudio de casos, donde cada uno de los estudiantes abordó un caso de estudio, seleccionando del universo existente en el mercado, analizando sus características formales y prestaciones, enfocando a la disciplina específica del remo para la cual se desarrollaron. Esto arrojó un total de 40 casos de estudio, abordando desde palas de remo de carácter recreativo, genérico, de una calidad baja o media y unos materiales básicos y sencillos, hasta palas específicas y profesionales fabricadas en materiales ligero y resistentes como el kevlar y la fibra de carbono. Desde esta investigación preliminar teórica, se propuso un aspecto a rediseñar, formal, pasando directamente al tema del curso, la fabricación de prototipos. Esto nos permitió limitar el tiempo de una investigación teórica más extensa, liberando tiempo para enfocarnos en la fabricación de las propuestas, todo ello contribuyó para llegar rápidamente a un resultado escalable y verificable ante un potencial usuario.

2.1. Etapa 1, fabricación de modelo pala en escala 1:10

Luego de la selección por parte de cada uno de los estudiantes, con respecto a la pala de remo, donde se solicitó un mínimo de información técnica como dimensiones generales, y un plano superior y algunas secciones desarrolladas por el fabricante, estos modelaron el original según estas planimetrías, proponiendo alguna mínima modificación. Para el modelado tridimensional se utilizaron los programas aprendidos en el curso de Representación Digital II, dictado por ambos académicos autores de esta comunicación, siendo estos Rhinoceros® de fabricación europea a cargo de la empresa Robert McNeel y Asociados® y Fusion360® de fabricación norteamericana correspondiente a la empresa Autodesk®. Esta propuesta de modificación muchas veces fue más bien verbal, y no alcanzó necesariamente a afectar su geometría, en otros casos afectó directamente la geometría, reflejando esta aproximación en la curvatura, en el tamaño u otro aspecto. Lo relevante aquí, ciertamente, no es la perspectiva de la modificación propuesta, sino el proceso que luego emerge para su prototipado. Así, en una sesión semanal, a la semana 2 ya contábamos con el modelo tridimensional en versión digital para ser verificado por los profesores y dar paso a su prototipo a través de -FA-. Surge en esta solicitud el primer desafío al cual los estudiantes no habían sido expuestos, siendo este la

calidad del modelado tridimensional, donde la fabricación aditiva exige una pieza digital a prueba de agua, lo cual se traduce en un modelado de sólido o malla con cerrada, soldada, donde el software CAM luego pueda distinguir entre un interior (el de la pieza a fabricar) y un exterior (el espacio vacío), arrojando una estrategia de fabricación en relación a las paredes del objeto, así como de su estructura interna. Para ello, el profesor Lucas realizó una clase específica sobre parámetros de configuración del software CAM, tocando el mínimo de parámetros necesarios para (a) obtener una versión rápida de la geometría y comprobar la forma, y si fuese necesario corregir y (b) fabricar la pieza con un interior de 15% para la entrega de la etapa. En la estrategia (a) se utilizó la fabricación helicoidal, con la que logramos una reducción importante de los tiempos de fabricación. En la estrategia (b) mientras tanto se propusieron la diversidad de rellenos prediseñados por el fabricante del software, y el juego entre relleno y cantidad de paredes, la falda y otros parámetros básicos.

En la Figura 1 vemos una de las palas diseñadas y fabricadas por los estudiantes del curso, siendo esta parte de la entrega del proceso de fabricación.

Figura 1.

Imagen del modelo de la pala fabricado en plástico PLA a través de fabricación aditiva y en escala 1:10



Fuente: Fotografía de la estudiante ayudante D. Noemí Muñoz Alarcón (2024).

2.2. Etapa 2, fabricación de molde en escala 1:10

La segunda etapa propuesta para el desarrollo del prototipado fue la fabricación del negativo de la pala. Este negativo debía fabricarse en escala 1:10 y presentar luego junto a la pieza en positivo para comprobar su forma. Aquí los estudiantes debieron, digitalmente, partir los modelados tridimensionales en la línea tangente extrema del borde la pala, lo que daba como resultado una curva espacial tridimensional de corte. Con esta línea espacial de corte partieron el modelo digitalmente, utilizando cada una de las hojas de la pieza como cara de una caja. Una vez cerrada la caja como un sólido se enviaron a fabricar por medio de fabricación aditiva en PLA. Realizar estas etapas con los modelos a escala nos permitió, siendo este un curso numeroso, optimizar los tiempos de uso de máquinas en el taller de fabricación y poder así, avanzar con cada uno de los modelos. Es importante mencionar aquí que el taller de fabricación digital no es de uso exclusivo del curso, sino que también atiende a todos los cursos y carreras de la FAAD.

En las Figuras 2 y 3 observamos las palas diseñadas y fabricadas por los estudiantes del curso junto a ambas caras de sus moldes, en la imagen verificamos que pala y molde se acoplan perfectamente debido a las tolerancias manejadas en los parámetros de impresión.

Figura 2.

Imagen de los modelos a escala de la pala del remo y de ambas caras del moldaje, fabricados a través de fabricación aditiva -MA- en plástico PLA



Fuente: Fotografía de la estudiante ayudante D. Noemí Muñoz Alarcón (2024).

Debido al proceso de fabricación aditiva por filamento y la resolución empleada para la deposición del material es que podemos ver las trayectorias del cabezal de extrusión en la pieza.

Figura 3.

Imagen de los modelos a escala de la pala del remo y de ambas caras del moldaje, fabricados a través de fabricación aditiva -MA- en plástico PLA



Fuente: Fotografía de la estudiante ayudante D. Noemí Muñoz Alarcón (2024).

2.3. Etapa 3, fabricación de moldes en escala 1:1

Para la fabricación de ambas caras del molde, los profesores del curso propusieron algunos procedimientos por los cuales transcribir la forma computacional hacia la materialidad. El primer procedimiento propuesto fue generar un *waffle* con una programación sencilla realizada en *grasshopper* la cual fue entregada a los estudiantes, para quienes utilizaban el modelador Fusion 360® se sugirió realizar el seccionado con el *addons* de Fusion Slicer®². Con esto, podrían generar un esqueleto para ensamblar y con el cual también verificaremos la escala del objeto. Aproximaciones a la fabricación de geometrías a través del *waffle* ya se había experimentado en el curso en el ejercicio anterior, el cual fue Sillín de bicicleta, por lo cual contábamos con la experiencia previa en cuanto a tolerancias, materiales y tiempo de producción.

Figura 4.

Imagen del moldaje utilizando una grilla de fabricación para transcribir la forma general al modelo físico, y rellenando los espacios con poliestireno y masilla para vehículos



Fuente: Fotografía estudiante ayudante D. Noemí Muñoz Alarcón (2024).

Uno de los procesos propuestos fue el mecanizado CNC en la máquina de 2 ½ ejes, utilizando una fresa recta de dos filos, y como material el mecanizado se realizó en poliestireno expandido. El proceso de mecanizado también es denominado *chip forming* o formador de viruta (Lefteri, 2007), por el residuo que deja este proceso al quitar material por un proceso mecánico.

Aquí los estudiantes pasaron del modelo digital de cada lado o cara por separado aún software intermedio del tipo *Computer Aided Manufacturing* (CAM) En nuestro caso específico utilizamos RhinoCam®, ya que también contamos con sus licencias y la integración al entorno de Rhinoceros nos parece adecuada y sencilla. En RhinoCam se configuró el tipo de fresa, utilizamos la misma fresa para el desbaste inicial como para el repasado o acabado. El poliestireno expandido al ser un material ligero es muy sencillo de mecanizar, exigiendo mínimamente a la fresa como a la máquina, debiendo controlar la velocidad de giro para obtener una viruta limpia y no generar temperatura que pueda quemar el material. En la Figura 5 vemos uno de los resultados del proceso.

Figura 5.

Imagen del moldaje utilizando mecanizado con fresadora de dos filos en máquina de control numérico computarizado de 2 ½ ejes



Fuente: Fotografía de la estudiante ayudante D. Noemí Muñoz Alarcón (2024).

2.4. Etapa 5, fabricación de modelo escala 1:1 en fibra de vidrio

Luego de fraguada las capas de yeso, o masilla mágica aplicadas según el tipo de molde realizado, mecanizado en poliestireno o grilla de fabricación en MDF (*Medium Density Fiberboard*) los estudiantes procedieron a realizar la copia de la forma utilizando diversas capas de fibra de vidrio, una a una, dejando tiempo de fragüe entre ellas. Previo a la aplicación de la fibra de vidrio con la resina mezclada con catalizador, aplicaron una capa que hiciera de interfaz entre la fibra de vidrio y el molde, para luego desmoldar la pieza una vez fraguada. Esto se pudo realizar en algunos casos, en otros y dada la fragilidad del molde, éste al desmoldar se fracturó, en otros quedó adherido a la pieza en fibra, con lo cual fue necesario romper para desmoldar.

Figura 6.

Imagen del moldaje fabricado a través de fabricación aditiva MA en plástico PLA recibiendo las primeras capas de fibra de vidrio



Fuente: Fotografía de la estudiante ayudante D. Noemí Muñoz Alarcón (2024).

Figura 7.

Imagen de estudiante marcando la pieza en fibra de vidrio, desmoldada una vez pasado el tiempo mínimo de curado.



Fuente: Fotografía de la estudiante ayudante D. Noemí Muñoz Alarcón (2024).

Figura 8.

Imagen de estudiante retirando los bordes sobrantes del modelo en fibra de vidrio.



Fuente: Fotografía de la estudiante ayudante D. Noemí Muñoz Alarcón (2024).

3. Resultados

Los resultados, todos ellos desarrollados bajo una misma metodología, componen una gran diversidad de aproximaciones a la forma materializada. Así mismo, al ofrecer algunas alternativas en las posibilidades de fabricación, los estudiantes han podido experimentar algunos procesos análogo-digitales con mayor o menor éxito, lo cual colabora en la formación de un criterio en la definición de posibles flujos de trabajo futuro, de cara al desarrollo profesional de cada uno de ellos, sobre todo cuando los resultados no han sido los esperados y se ha debido repetir el proceso modificando alguna de sus variables.

Los resultados de este curso bajo la metodología expuesta en el punto 2. son 40 prototipos desarrollados de manera individual por cada uno de los estudiantes. El prototipo fue acompañado de una lámina explicativa para el referente, una lámina con fotografías del proceso de prototipado, validando sus decisiones y una lámina explicativa para la propuesta. Como resultado conceptual tenemos la metodología del prototipado con la integración del uso de moldajes a través de fabricación digital o computarizada, explorando grillas de fabricación y fabricación aditiva para la gestación de la forma computacional.

En la Figura 9 presentamos la lámina de la estudiante María Ignacia Neira. Esta lámina expone el referente escogido, sus dimensiones, una breve descripción del fabricante y un dibujo a mano alzada en isométrica. A todos los cursos se les entregó una plantilla digital para que únicamente reemplazaran la información, con ello logramos un estándar en la entrega junto con priorizar los tiempos para la fabricación.


Figura 9.

Lamina de entrega con la información del referente de diseño, destacando alguna de sus características para abordar como propuesta de rediseño.


Encargo 03_Pala Referente

TRAVEL AJUSTABLE 3 PARTES CARIBBEAN - REMO PADDLE SURF CARBONO

El remo de paddle surf Travel está fabricado en carbono/fibra para mentar el rendimiento pero conservando suavidad. Dispone de un nuevo diseño de pala mas polivalente. Desmontable en 3 partes, con altura ajustable y sistema anti-twist. Es perfecto para viajar, guardar en el maletero del coche, llevar en avión o guardarlo en la mochila junto a su tabla de stand up paddle inflable.



Despiece




1. Tubo ajustable 70% carbono - 30% fibra con sistema anti-torsión para evitar que la empuadura gire.

2. Tubo ligero y reforzado con una excelente flexión gracias a su construcción 70% carbono - 30% fibra.

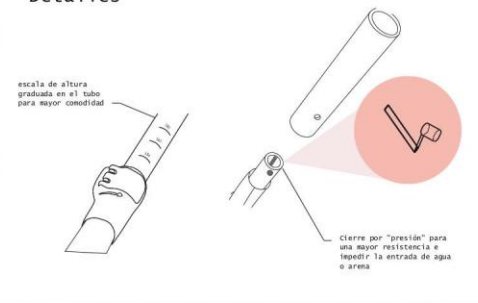
3. Carbono sólido - fibra reforzada, forma polivalente para una máxima versatilidad.

4. De gama alta para un bloqueo excelente y un ajuste preciso. Pala ajustable de 170 a 220 cm.

Vistas



Detalles



escala de altura graduada en el tubo para mayor comodidad

Cierre por "presión" para una mayor resistencia e impedir la entrada de agua e arena.

Nombres: María Ignacia Neira Profesores: Luis García | Lucas Helle
Ayudante : Noemi Muñoz

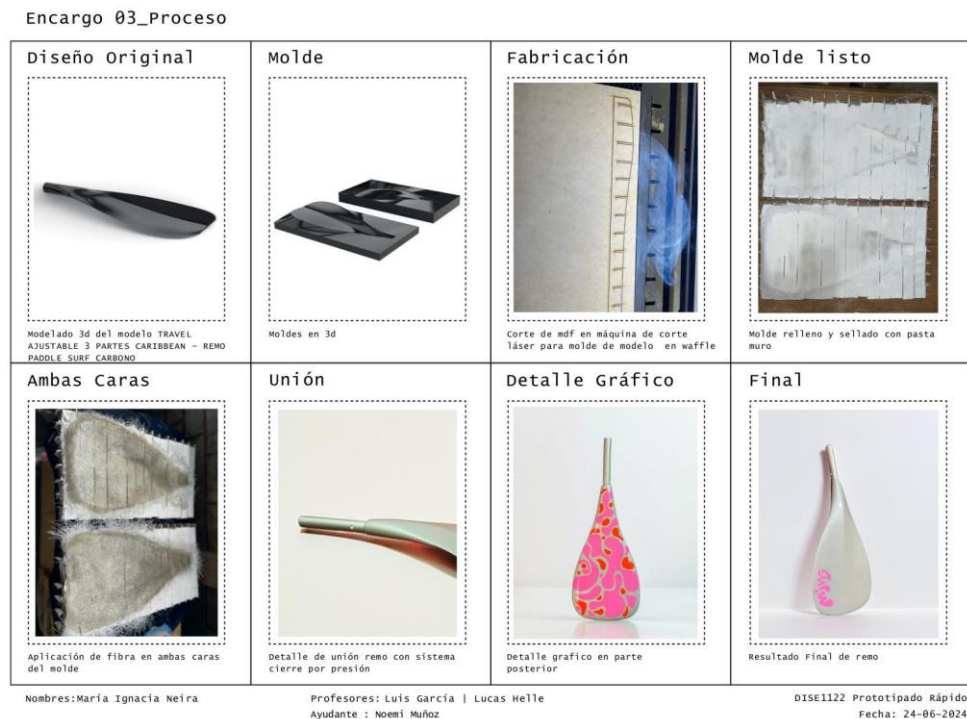
DISE1122 Prototipado Rápido
Fecha: 24-06-2024

Fuente: Elaboración estudiante ayudante María Ignacia Neira (2024).

En la Figura 10 los estudiantes corroboran el proceso por ellos desarrollado, fotografiando en cada una de las etapas, validando los pasos del prototipo.

Figura 10.

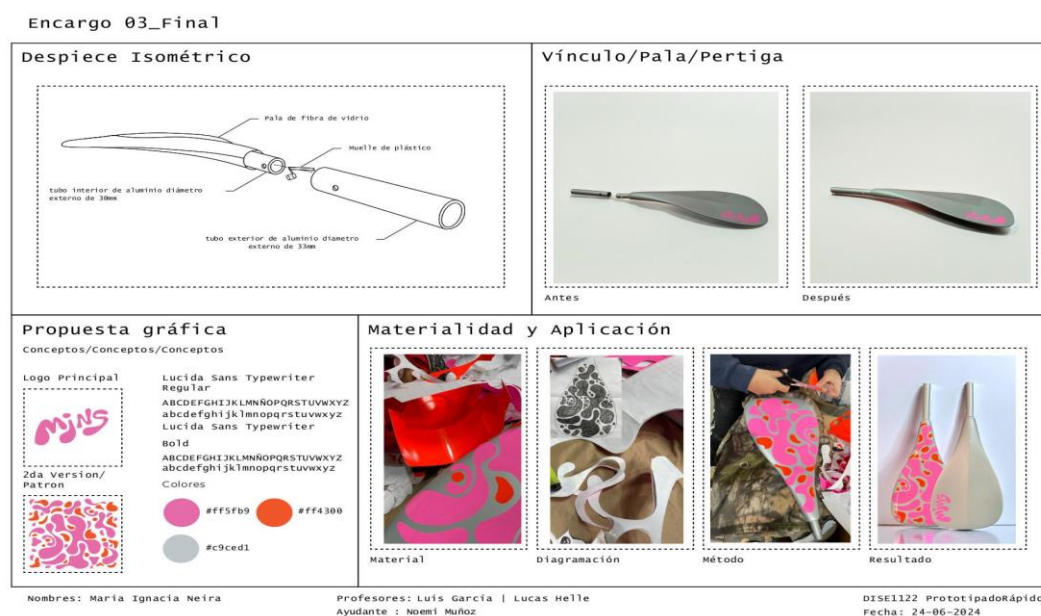
Lámina de fotografías del proceso de fabricación



Fuente: Elaboración de la estudiante ayudante María Ignacia Neira (2024).

Figura 11.

Lamina de entrega con la información de la aproximación al rediseño y las decisiones tomadas por la estudiante. En esta podemos verificar la paleta de colores y la geometría como elementos básicos de interacción.



Fuente: Elaboración de la estudiante ayudante María Ignacia Neira (2024).

4. Discusión

La discusión que propone este trabajo enfoca principalmente en instalar la metodología del prototipado y sus diversas escalas para resolver problemas de diseño. Enfrentados a los resultados, creemos ampliar levemente los límites disciplinares del diseño, jugando con las materialidades y las técnicas, derivando entre ellas con libertad, observando cada uno de los pasos en la experimentación para resolver la materialización de las formas digitales de superficies libres. Por otro lado, no compartimos la mirada que fomenta un diseño contemporáneo hiper-tecnologizado, instalando una confianza errada en las máquinas como solucionadoras de problemas, siendo que las máquinas automatizadas no hacen más que interpretar las formas que el diseñador propone, con lo cual, un diseño que no esté pensado para su materialización será un diseño digital que no podrá salir de la computadora. También nos interesa aquí instalar una independencia de estos equipos, principalmente ya que no todas las universidades cuentan con presupuestos que permitan mantener actualizados sus laboratorios, lo que según nuestra experiencia lo vemos como una fortaleza, al forzar el cómo resolver y hacer más con menos recursos. Por ello proponemos y validamos la combinación de técnicas de prototipado análogo con el prototipado digital, jugando en porcentajes desiguales según el tipo de proyecto a desarrollar. Esto permite una apertura y adaptación a diversas técnicas, donde el diseñador cumple más bien el rol integral de un solucionador de problemas y no necesariamente las habilidades de un dibujante técnico especializado, lo cual nos parece correcto, en un entorno donde las técnicas digitales evolucionan diariamente.

Otro aspecto relevante de la discusión que propone el curso de prototipado y su metodología es la materialización de las ideas versus el diseño que surge bajo la lógica de la visualización para las redes sociales, el cual se enfoca en una presentación de algo, sin necesariamente profundizar ni validar los aspectos conceptuales que lo organizan. El diseño para las redes sociales nos parece vacío por una búsqueda frenética del *-like-* virtual, enfocando más bien en la composición de unos resultados fotogénicos y desechables, que no necesariamente fomenta el trabajo, la persistencia y la tenacidad, como características que poco a poco van siendo desplazadas por la instantaneidad y superficialidad de las *-historias-*, y que este trabajo subliminalmente intenta restaurar con la promoción actitudinal desde el hacer y sus dificultades. Recordamos aquí las palabras de Jhon Maeda refiriéndose al prototipo. Maeda, quien también es autor de las Leyes de la Simplicidad de 2006, relaciona elementos generando una discusión en torno al desarrollo digital, la forma simbólica y el contenido sentimental-emocional (Maeda, 2006) de los elementos del diseño. En un contexto que aporta a la discusión y definición de prototipo digital, principalmente, también comenta que *If a picture worths a 1000 words, a prototype worths a 1000 meetings* (Maeda, 2014), parafraseando esa publicación del 1911 en un anuncio del periódico *One Look Is Worth A Thousand Words* (Brisbane, 1911).

Creemos que la discusión sobre el diseño contemporáneo, el prototipado y la relación de ambos con las redes sociales con una mirada ética es un tema pendiente. La disciplina del diseño es rápidamente influenciada por cualquier modificación en las conductas sociales. No así otras disciplinas del diseño sobre las cuales también se relacionan los autores de este trabajo, como el diseño de arquitectura. Enfocamos aquí en esos aspectos que mantienen a la arquitectura tradicionalmente sujeta al suelo, atendiendo a las complejidades que comúnmente debe solucionar. Mientras tanto, el diseño, que diariamente genera y administra contenidos y estrategias digitales en las redes sociales debe revisar los aspectos que lo distancian de la publicidad. Las redes sociales hoy día han diluido esa frontera, la cual para nosotros es necesaria mantener y reconstruir en cuanto el diseño propone soluciones que deben necesariamente mejorar la situación del habitante, mientras que la publicidad quiere generar mayores ingresos para el puñado de inversionistas invisibles que parasitan del diseño, y de cualquier otra disciplina que ofrezca lucrar y multiplicar las inversiones.

5. Conclusiones

El prototipado, tanto conceptual como instrumentalmente contribuye al correcto desarrollo de los proyectos de Diseño, en particular, y a la solución de problemas, en general. Bajo estos términos hemos desarrollado esta metodología al interior del curso de Prototipado Rápido, metodología que culmina con la comunicación de los procesos y resultados a través de este documento y su presentación. Confiados en que la disciplina del diseño es propensa a establecer un vínculo con la investigación a través del diseño (Faste y Faste, 2012) y que nuestro equipo académico enfoca con una bajada directa hacia el pregrado. Entonces, el prototipado se propone como un juego de aproximaciones digitales y materiales del aprendizaje a través del hacer, generando diversas aproximaciones entre lo digital y lo análogo, donde los estudiantes toman decisiones en el proceso de materialización de la forma proyectada, resolviendo la transcripción de formas complejas desde el modelado tridimensional hacia el material y la fabricación.

Como trabajo futuro proponemos evolucionar la metodología basada en prototipos e iteraciones con un nuevo caso de estudio, la tabla de surf. En principio hay una componente territorial que vincula el desarrollo de elementos que, de levantar algún interés particular por parte de los estudiantes, podrían estos proyectos ser tomados para algún emprendimiento con impacto en la región. Esta región se caracteriza por las prácticas deportivas, algunas de ellas catalogadas dentro de los deportes extremos, como el kayak de río, bajada de ríos en balsa, parapente, descenso de montaña en bicicleta y otros. Por otro lado, creemos que un único ejercicio en el semestre podría llevar el desarrollo de los prototipos a una mayor fidelidad, incluyendo la validación con usuarios, siendo este un tema pendiente del curso, como comentamos en el punto 2.

6. Referencias

- Atkinson, P., Unver, E., Marshall, J. y Dean, L.T. (2009). *Post Industrial Manufacturing Systems: the undisciplined nature of generative design*. Design Research Society. DRS Digital Library. DRS Biennial Conference Series. <https://dl.designresearchsociety.org/drs-conference-papers/drs2008/researchpapers/72/>
- Atkinson, P. (2004). Post Industrial Manufacturing Systems: The impact of emerging technologies on design, craft and engineering processes. En G. Burnett (Ed.), *Challenging craft: International Conference, 8-10 Septiembre 2004*. Aberdeen, Scotland, Gray's School of Art, Robert Gordon University.
- Brisbane, A. (1911). *Syracuse Advertising Men's Club* [Anuncio de periódico].
- Bryden, D. (2014). *CAD and Rapid Prototyping for Product Design*. Laurence King Publishing.
- Faste, T. y Faste, H. (2012). *Demystifying "Design Research": Design is not research, research is design*. IDSA. Education Symposium <https://www.idsa.org/wp-content/uploads/Faste.pdf>
- Gengnagel, C., Nagy, E. y Stark, R. (2016). *Rethink! Prototyping Transdisciplinary Concepts of Prototyping*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-24439-6>
- Hallgrimsson, B. (2012). *Prototyping and Modelmaking for Product Design*. Laurence King Publishing.

- Kumar, L. J., Pandey, P. M. y Wimpenny, D. I. (2019). *3D Printing and Additive Manufacturing Technologies*. Springer.
- Lefteri, C. (2007). *Making it: Manufacturing Techniques for Product Design*. Laurence King Publishing. <https://tinyurl.com/ypewy28p>
- Maeda, J. (2006). *The laws of simplicity. Design, technology, business, life*. The MIT Press.
- Maeda, J. [@johnmaeda]. (5 de octubre de 2014). *If a picture is worth 1000 words, a prototype is worth 1000 meetings* [Tweet]. <https://x.com/johnmaeda/status/518556402902925313>
- Munari, B. (1971). *Arte come mestiere Design as Art*. Editorial Laterza.
- McElroy, K. (2016). *Prototyping for Designers*. O'Reilly Media, Inc.
- Oxford University Press (2024). *Prototype*. <https://tinyurl.com/2c99zw48>
- RAE (2019). *Prototipo*. <https://www.rae.es/diccionario-estudiante/prototipo>
- Shenkoya, T. y Kim, E. (2023). Sustainability in Higher Education: Digital Transformation of the Fourth Industrial Revolution and Its Impact on Open Knowledge. *Sustainability*, 15(3), 2473. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/3/2473>
- Thomsen, M. R. y Tamke, M. (2016). *Prototyping Practice: Merging Digital and Physical Enquiries*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24439-6_5

CONTRIBUCIONES DE AUTORES/AS, FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

Contribuciones de los/as autores/as:

Conceptualización: García Lara, Luis Fernando Sebastián; **Software:** García Lara, Luis Fernando Sebastián **Validación:** García Lara, Luis Fernando Sebastián; **Análisis formal:** García Lara, Luis Fernando Sebastián; **Curación de datos:** Helle Pesot, Lucas; **Redacción-Preparación del borrador original:** García Lara, Luis Fernando Sebastián; **Redacción-Revisión y Edición:** García Lara, Luis Fernando Sebastián **Visualización:** García Lara, Luis Fernando Sebastián **Supervisión:** Helle Pesot, Lucas **Administración de proyectos:** Helle Pesot, Lucas **Todos los/as autores/as han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito:** García Lara, Luis Fernando Sebastián.

Financiación: No.

Agradecimientos: No.

Conflicto de intereses: No.

AUTORES:**Luis García Lara**

Universidad Católica de Temuco, Departamento de Diseño.

Actualmente desarrolla su actividad académica en la FAAD+O de la Universidad Católica de Temuco, dictando clases en las carreras de Arquitectura, Artes y Diseño en cursos de Taller Arquitectónico, Taller de Diseño, dibujo análogo, dibujo computarizado y otros. En paralelo se encuentra doctorando en la Universidad del Biobío con el tema de tesis sobre la obra del Arquitecto Roberto Matta Echaurren colaborando en el proyecto FONDECYT 1221730 cuyo responsable es el Doctor Arquitecto Rodrigo García Alvarado. Junto a ello desarrolla actividades de investigación interdisciplinaria en el área de humanidades digitales exponiendo en congresos nacionales e internacionales tales como: DRHA2022, BAMC2022, CUICID2022, IHTC2021, CHILECON2021 con publicaciones científicas en editoriales como Taylor & Francis, Springerlink y otras.

lgarcia@uct.cl

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-0723-809X>

Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=fZfdD-cAAAAJ>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Luis-Garcia-209>

Lucas Helle Pesot

Universidad Católica de Temuco, Carrera de Diseño.

Lucas Helle titula su tesina de magister como: "Diseño y modificación de entornos dinámicos mediante sistemas robóticos de enjambre". Diseñador y Magíster en Ciencias del Diseño por la Universidad Adolfo Ibáñez, tiene un interés declarado por la observación de los procesos de la naturaleza y su representación a través de sistemas robóticos, con énfasis en los sistemas de enjambre. Profesor de los cursos de Representación Digital II, Prototipado Rápido y de intensivos de formación en programación de placas de prototipado Arduino.

lhelle@uct.cl