

Entre el pensar y el hacer avanzados

Between the advanced thinking and the advanced making

Daniela Frogheri, Profesor Titular
UDEM, Universidad de Monterrey, México
daniela.frogheri@udem.edu

Alberto T. Estévez, Catedrático y Vicerrector
ESARQ, the School of Architecture UIC Barcelona Universitat
Internacional de Catalunya, España
estevez@uic.es

Abstract

This paper presents a study about the introduction of the digital design and the digital fabrication from the first steps of the designer education. The work is developed through the relationship between the advanced thinking and the advanced making, applied into a undergraduate studio where, a process of generation of form and its materialization are concretized into the design and the fabrication of full scale pavilions.

Keywords: Design pedagogy; Digital morphology; Generative design; Digital fabrication; Parametric pavilion.

Introducción

En este paper se presenta un estudio sobre la importancia de la introducción del diseño y la fabricación digital desde las primeras etapas de la formación del diseñador.

La investigación nace desde unas miradas al presente, a diferentes escalas. De manera global, se ve una realidad extremadamente compleja no sólo por su naturaleza en rápida evolución, sino, sobre todo, por cómo hoy nos relacionamos con ella gracias a los avances tecnológicos. En este contexto, el reto del diseñador, por la complejidad de las entidades con las cuales interactúa como observador, crítico e intérprete de lo existente y como ideador de propuestas y soluciones, requiere conocimientos y capacidades cada vez más avanzadas y el dominio de dicha tecnología.

No obstante esta necesidad, mirando otra vez al presente, ahora de manera puntual, en el ámbito académico se nota, por parte de los futuros diseñadores, una gran incapacidad de relacionarse con entidades complejas. Sean estas entornos existentes a analizar, sean geometrías o formas a elaborar para los proyectos. Lo cual se debe sobre todo a la gran fractura todavía existente entre los avances tecnológicos y la enseñanza del diseño, que, o ignora completamente dichos avances, o los utiliza como simples herramientas de trabajo. O en el mejor de los casos, los introduce en las últimas etapas de la formación, cuando ya se han consolidado conceptos y procedimientos difíciles de relacionar con lo nuevo.

De aquí la idea de experimentar la implementación del diseño y la fabricación digital desde las primeras etapas del diseño, introduciendo teorías, metodologías, conocimientos y herramientas para pensar y para hacer, fomentando así no sólo el dominio de las mismas sino su integración con los procesos tradicionales.

La investigación que se presenta aquí, trata los procesos de generación de la forma y su materialización aplicada al

espacio arquitectónico a través del diseño computacional y la fabricación digital, implementados en un estudio del primer año de Arquitectura en la Universidad de Monterrey (UDEM), que se concreta en el diseño y la realización de pabellones a escala real.

El proyecto se define a través de la retroalimentación continua entre dos temas fundamentales: el primero, enfocado en la fabricación digital, trata sobre la actual relevancia de la relación entre el diseño del objeto, su materialización física y la necesidad de dominar el hacer por parte del ser humano, y por lo tanto del diseñador; el segundo concierne al rol de la computación en los procesos de morfogénesis, desde la interpretación de lo existente hasta la elaboración de ideas, a través del pensar generativo, paramétrico-asociativo y del proyecto como sistema.

El tema de la introducción del diseño y la fabricación digital en los estudios de arquitectura, así como el desarrollo en los mismos de prototipos u obras arquitectónicas, generalmente pabellones, a escala real, hoy en día ya no se puede considerar un tema nuevo ni original. También no es nueva la implementación de recorridos y experimentaciones con los cuales se introduce el concepto de proyecto como sistema, realizando estudios y materializaciones, explorando los conceptos de emergencia, *form finding* y *bottom up*. Existen una gran cantidad de trabajos realizados, algunos de manera puntual u otros que se repiten de manera periódica, en varias instituciones a lo largo de todo el mundo, como la Architectural Association (AA) de Londres, el ETH de Zurich, la Universitat Internacional de Catalunya (UIC) en Barcelona, el Southern California Institute of Architecture (SCI-Arch) en Los Angeles, el Institute for Advanced Architecture of Catalonia (laaC) de Barcelona, el Institute for Computational Design (ICD) y el Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) de la University of Stuttgart, sólo para citar algunos de entre los más relevantes.

Sin embargo, en la mayoría de los casos se trata de estudios o proyectos que se realizan dentro de un máster o a nivel de

postgrado. Por lo tanto, iniciar desde el nivel de grado, además de proporcionar conceptos y herramientas para entender e idear realidades complejas, contiene en sí un carácter innovador en el ámbito de la enseñanza.

El trabajo, nacido en un inicio como estrategia para la materialización del proyecto final del estudio de Arquitectura, desde el 2013 hasta fecha y a lo largo de tres años, se ha convertido en una línea de investigación a dos niveles: *el pabellón*, diseñado y construido cada semestre, y *los pabellones*, que uno tras otro generan material de aprendizaje e informaciones que, sean puntos fuertes o débiles, se transmiten a los estudios sucesivos, influenciando todo el programa académico.

Uno de los puntos más importantes del trabajo es que los productos finales de cada sesión semestral son unas obras arquitectónicas reales, que por lo tanto tienen una función, se ubican en un lugar y son utilizados por usuarios de verdad. Esta capa práctica hizo que se definieran unas limitantes a través de las cuales dichas obras se consolidaron cada vez más en la tipología del pabellón.

El pabellón en sí, por su naturaleza de elemento completo y a la vez efímero, permite la experimentación de morfologías complejas y nuevos sistemas constructivos en tiempos breves y costos accesibles. Y de hecho, justamente por esta capacidad de recoger con frescura las investigaciones más avanzadas, esta tipología que llamamos pabellón ha marcado alguno de los hitos claves de la historia de la arquitectura moderna: desde el Pabellón de Cristal de Bruno Taut hasta el Pabellón Philips de Le Corbusier, pasando por el Pabellón de Barcelona de Mies van der Rohe, por poner tres ejemplos significativos. Sólo que ahora, con la propagación de las herramientas digitales por las escuelas más avanzadas, se ha propiciado una auténtica explosión de este quehacer experimental por el mundo entero. Sobre todo impulsado por los profesores que buscan investigar con las nuevas tecnologías y encuentran en tales escuelas un entorno mínimamente adecuado para trabajar en ello.

Las dimensiones, en general, dentro de rangos relativamente pequeños, permiten la ideación y la fabricación de la obra completa en tiempos breves, la experimentación de nuevos sistemas constructivos autoportantes sin la necesidad de conocimientos de ingeniería avanzados, el fácil armado, desarmado y eventual traslado de la obra y por lo tanto, en general su factibilidad por parte de los estudiantes de un estudio de arquitectura, fomentando la innovación y permitiendo la experimentación directa de la materialización.

En este documento se presentarán el proyecto y los resultados obtenidos hasta la fecha, evidenciando los puntos fuertes y los puntos débiles del trabajo.

Procesos metodológicos

El trabajo se basa en la implementación de los conceptos *del pensar y del hacer avanzados*, aplicados al diseño y a la

fabricación de un objeto arquitectónico real, desde las primeras etapas de la formación del diseñador.

El *pensar avanzado* consiste en la experimentación de procesos de diseño fundamentados en concebir el proyecto como sistema, a través del pensar paramétrico, generativo y asociativo, y el desarrollo de algoritmos geométricos para la comprensión y el dominio de los principios de organización y generación de las formas, incluyendo tanto etapas analógicas como de diseño digital.

El *hacer avanzado* se basa en la comprensión de la relación entre el diseño del objeto arquitectónico y su materialización física. Sea explorando la propiedades intrínsecas de la materia con procesos de *form finding* analógicos y digitales, como experimentando de manera directa las posibilidades y el potencial de la fabricación digital.

Tomando como base la relación de retroalimentación continua *entre el pensar y el hacer avanzados*, se ha planteado una metodología de trabajo que conduce desde la primera idea de proyecto hacia su materialización, pasando por procesos en las modalidades *bottom up* y *top down*, ya sea de manera analógica como digital. Dicha metodología se ha estado implementando en el estudio de Elementos de la Arquitectura, donde desde enero de 2013 hasta la fecha, a lo largo de cada semestre académico, se diseña y fabrica un pabellón a escala real. Esto ha permitido que, si en sus dos primeras versiones empezó siendo una estrategia puntual de materialización del proyecto final del estudio, acabó convirtiéndose en una auténtica línea de investigación.

Así, el trabajo se divide en fases, durante las cuales los estudiantes realizan actividades experimentando diferentes dinámicas de trabajo, que los conducen gradualmente desde la formulación de ideas y estudios individuales hasta el proyecto colaborativo final. Dada su naturaleza periódica, dicha metodología, aún manteniendo su estructura de base, ha ido evolucionando, fortaleciendo y depurando partes, según las experiencias y los resultados de cada sesión semestral.

La definición del tema del proyecto tiene sus bases en el antiguo estudio de Arquitectura, cuyo objetivo principal era introducir a los alumnos a un contacto directo con el mundo de la construcción, de un objeto arquitectónico a escala real, fomentando la comprensión de la relación entre el diseño y su materialización física. El estudio de aquel entonces consistía en el diseño y la construcción de un espacio *para estar*, con algunas limitantes, dictadas en parte por los objetivos particulares de la actividad, y en parte por la naturaleza misma del proyecto, y por cuestiones logísticas.

Con la introducción del diseño y la fabricación digital, el tema de sus condicionantes -manteniéndose dentro de las bases principales- se ha ido detallando y definiendo cada vez más, con una evolución progresiva semestre tras semestre, debida a la retroalimentación dictada por los puntos fuertes y débiles de cada resultado.

Actualmente el tema consiste en el diseño y la fabricación de un pequeño pabellón que mida alrededor de 27 metros cúbicos, que no supere los 2.5 metros de altura, que sea autoportante y sin fundiciones, completamente desarmable, que se pueda ubicar tanto al exterior como en espacios interiores, y que pueda ser armado completamente por los alumnos sin la ayuda de profesionales. Mientras, su morfología tiene que surgir de procesos de diseño paramétricos generativos y asociativos, y su materialización se tiene que hacer a través de la fabricación digital.

Fase 01. Estudios preliminares

Los estudios preliminares tienen el doble objetivo de introducir a los estudiantes en los conceptos del proyecto como sistema, en sus lógicas internas de conformación, y en las propiedades intrínsecas de la materia. Esta etapa se desarrolla de manera individual, a través de una exploración formal, material, analógica y manual. Inicialmente de manera abstracta, con un ejercicio básico de *form finding*, aplicando los principios del *bottom up*. Así, cada alumno define un componente físico y lo materializa, formulando sus reglas internas de conformación, y estudiando sus posibilidades de variación dictadas por las características propias de su morfología y de la materia. Sucesivamente, trabajando siempre *desde abajo hacia arriba*, se exploran posibilidades de agregación y proliferación, encontrando lógicas internas de organización del sistema a la luz de las cuales se realizan las primeras conformaciones (Fig.1).



Figura 1: Daniela Frogheri, Agregaciones de componentes: materialización analógica

Al final de esta parte se analizan los trabajos en conjunto, y se seleccionan entre ellos tres o cuatro de mayor interés, que serán las bases para el desarrollo de las primeras definiciones del proyecto.

Fase 02. Definición del proyecto

Los objetivos principales de esta fase son comprender la relación entre los factores internos y externos de un sistema y su rol en los procesos de generación de la forma, y cómo esto se traduce en la morfología de un proyecto. A partir de las primeras conformaciones seleccionadas, los alumnos trabajan en equipos de tres o cuatro personas, desarrollando cada uno una idea de proyecto. También aquí siguen trabajando de manera analógica y a mano, aunque en

algunos casos empiezan a modelar partes en un entorno digital, principalmente con *Rhinoceros*.

En esta etapa se pasa de la modalidad *bottom up* al *top down* a través de la intención y del inicio de la modificación de las familias de componentes y sus agregaciones según necesidades estructurales, de uso y considerando factores externos: el sol, el viento, el agua, el clima en general, la posición, etc. Siempre siguiendo como base sólida las reglas internas de conformación y organización establecidas al inicio, pero aportando modificaciones según el *feedback* de dichos factores. Los componentes y las conformaciones iniciales se redefinen entonces para desarrollar las primeras propuestas de sistema constructivo.

Con estas primeras ideas de proyecto se consolida el concepto de sistema en cuanto conjunto de elementos conectados entre ellos, a través de reglas de conformación y de agregación, para lograr propiedades relativas a su estructura, cierre, abertura, porosidad, resistencia, y todas las que se consideren oportunas para su habitabilidad. Además se fortalecen los conceptos de elemento, de *familias de cosas*, de variación y de parámetro, en relación a factores internos del sistema, a necesidades estructurales, o a factores externos: posición, clima, factores ambientales, usuarios, etc. Al final de esta parte, se selecciona una sola idea de proyecto, en base a ella se definirá el proyecto final que será fabricado a escala real.

Fase 03. Desarrollo del proyecto

Esta etapa tiene como objetivos el desarrollar la versión final del proyecto y la comprensión de las posibilidades de la computación en los procesos de diseño, y en el paso que va desde el objeto diseñado a su materialización física. Aquí los estudiantes trabajarán todos en el mismo proyecto, en un proceso que se compone de continuas retroalimentaciones entre lo digital y su materialización. Así, en esta fase, primero, el proyecto -definido en los pasos precedentes- se desarrolla como sistema, a través de herramientas paramétrico-asociativas y generativas como son *Rhinoceros*, *Grasshopper* y con el uso de lenguajes de programación como *Phyton*. Y se verifica que los alumnos dominan cada vez más los conceptos de familias de elementos, variaciones, parámetros, y comprenden su interdependencia con las reglas internas y los factores externos al sistema. Dicho nuevo sistema correspondiente al proyecto final, más que una réplica digital de lo que se había desarrollado inicialmente de manera analógica, es una nueva herramienta para completar el proceso de diseño. Además de ser una herramienta valiosa para la consolidación de las lógicas de la forma, el sistema digital es la base para definir el sistema constructivo. Entonces, generando las piezas, sus uniones, escogiendo materiales y herramientas de fabricación, se realizan los primeros prototipos a escala real -generalmente utilizando madera y con corte láser- que proporcionan informaciones para la versión final del proyecto.

Una cuestión fundamental con la cual se encuentran los alumnos en esta etapa es la retroalimentación de la herramienta respecto a la naturaleza de la conformación y al

sistema constructivo. Entendiéndose entonces las máquinas de fabricación digital, no sólo como medios a través de los cuales materializar algo que se había diseñado, sino como parte viva del proceso de diseño.

Fase 04. Fabricación digital

Esta fase tiene como objetivos, además de la construcción del objeto en sí, la introducción de los alumnos al mundo material de la fabricación digital y a la comprensión de las diferencias con la fabricación manual. Es el momento de fabricar digitalmente todas las piezas, a través de corte láser y de una *CNC milling machine*. Finalmente se ensamblarán entre ellas, obteniendo el pabellón final. Es aquí donde se entiende la materialización física como parte integrante del proceso de diseño, y no como una etapa final que se realiza por separado. Por lo tanto, se hace evidente la importancia del dominio del *hacer* por parte del diseñador, en este caso el arquitecto, además de comprender las posibilidades y el potencial del uso de la computación en todas sus capas.

El paso del objeto generado en el entorno digital a su materialización física, introduce a los estudiantes a unas cuestiones fundamentales, para quienes hoy en día se acercan al mundo de la construcción de elementos complejos a través de la fabricación digital. La primera es la redefinición de los conceptos de representación, comunicación e interpretación del proyecto: el pasaje inmediato desde un archivo digital a la fabricación del mismo elimina varios procesos de intermediación, gracias a los lenguajes de comunicación entre el diseño y la entidad que fabrica el objeto. La segunda, es que los conceptos de orden, organización, clasificación, jerarquía, ya tocados a la hora de definir los elementos básicos y sus agregaciones, adquieren ahora una nueva importancia, finalizada la fabricación, y se aplican para el desarrollo de una nueva parte del sistema digital, o en algunos casos de un nuevo sistema (desarrollado con *Grasshopper* o *Phyton*), que clasifica, prepara y organiza todos los elementos que se van a fabricar.

Al participar de manera directa en un proceso de fabricación digital, y por estar materializando un sistema paramétrico, los alumnos empiezan a familiarizarse con el potencial de la fabricación digital: en comparación con los procesos tradicionales, entendiendo las nuevas posibilidades de exploración formales y materiales, tocando desde cerca el concepto de *non-standard*, entendiendo las diferencias en cuanto a la proporción entre tiempos y costos, y acercándose finalmente al concepto de materialización física, a través de tal aplicación real.

Y además de todos los conocimientos adquiridos a lo largo del trabajo, la experiencia de la construcción es aquella donde los estudiantes aprenden más, ya que es el momento donde aplican todo lo que han experimentado. Así, por la naturaleza paramétrica del proyecto, se encuentran con una gran cantidad de piezas diferentes, que no sólo habría sido imposible fabricar a mano, sino que también sería imposible conectarlas entre ellas sin numerarlas. Por lo tanto

comprenden mejor la importancia de la clasificación y la organización.

Al disponer las piezas cada una en su lugar, al fin de componer un pabellón que se enfrenta a problemáticas reales y que tendrá un uso real, entienden el sentido de variación y diferenciación de los componentes y el rol de cada uno. Y además de juntar las piezas como elementos de un sistema, las preparan para el uso, con detalles, acabados, barniz, pintura... El trabajo se convierte finalmente en un espacio arquitectónico real, con el cual se comprende definitivamente el concepto de arquitectura como sistema

Resultados

Los resultados de la presente investigación se pueden leer directamente bajo el punto de vista de las seis obras arquitectónicas construidas hasta la fecha al final de cada sesión semestral del estudio. O se pueden leer a través de una mirada más amplia, que considere toda la línea de investigación como un recorrido, cuyo objetivo principal es potenciar la formación de los diseñadores desde el inicio de su formación a través de la implementación de conceptos y tecnologías avanzadas.

Los objetos arquitectónicos realizados, si bien tienen su valor en cuanto entidades singulares en sí, por su carácter innovador y por los procesos desde los cuales surgen, podría decirse también que tienen más relevancia como conjunto de experiencias y resultados que toman en cuenta sus predecesores para corroborar los puntos fuertes y mejorar los puntos débiles. Por lo tanto, más que hablar de las características específicas de cada obra, se presentarán en estas páginas como una sucesión de elementos en evolución.

Tal como se les denominó, el *Bicho 1* y el *Bicho 2* fueron las premisas a través de las cuales se pusieron las bases de la transformación del estudio de Elementos de la Arquitectura tradicional en un proceso de implementación de conceptos y tecnologías avanzadas en las primeras etapas de la formación del arquitecto. A partir del *Bicho 3* hasta la fecha, se desarrolló y consolidó una metodología de trabajo con la cual el estudio se convirtió en una línea de investigación.

Con el *Bicho 1* los alumnos experimentaron la posibilidad de idear morfologías complejas y sobre todo la factibilidad de su materialización a través de la fabricación digital. Al estimular la ideación de los proyectos sin pensar en los límites de factibilidad dictados por los procesos de fabricación tradicionales y con la invitación a realizar maquetas con materiales de diferente naturaleza, aún todavía sin la implementación de un verdadero proceso de diseño generativo, se logró una riqueza formal nunca alcanzada en las ediciones precedentes. El proyecto seleccionado para la fabricación final, cuyo modelo fue realizado con alambre y papel maché, era un objeto tridimensional monolítico cuya conformación presentaba dobles curvaturas y ramificaciones cerradas de manera ovoidal. Para experimentar directamente las posibilidades de la fabricación digital, se estudió una estrategia de materialización muy sencilla, generando un

modelo tridimensional en el entorno digital y un sistema de organización de las piezas, usando luego planos seriados en las dos direcciones perpendiculares, con encajes para el armado. El resultado fue un pequeño pabellón de madera que generaba un espacio para 5 ó 6 personas, autoportante, fabricado con láminas de *triplay* del grosor de 15 mm, cortadas con *router CNC*, compuesto de más de 600 piezas todas diferentes, que se fabricó y armó en menos de una semana. Este permaneció en la entrada del campus universitario por varios meses, donde se utilizó como espacio para sentarse y descansar. Los alumnos, aprendieron a concebir la complejidad, entendiendo las posibilidades de materialización de la fabricación digital en comparación con los métodos de construcción tradicionales. Pero, a pesar del gran éxito del trabajo, hubieron algunos puntos débiles, en parte técnicos y en parte conceptuales. Por la novedad de la experiencia, al fabricar la obra, la atención se enfocó casi toda en el armado de las piezas, sin considerar la necesidad de un acabado. Por lo tanto, al no ser barnizado, el pabellón expuesto durante meses a la intemperie se deterioró. Además, por no ser desmontable y por su peso, se tuvo que quitar sin posibilidad de reubicarse. Por otro lado, no obstante, se logró la ideación de morfologías complejas, si bien el proceso de diseño no fue planeado de manera metódica. Así, el trabajo consistió sobre todo en una estrategia de materialización, enfocada más en *el hacer* que en *el pensar avanzados*.

Con el *Bicho 2* se introdujo el concepto del proyecto como sistema. Por lo tanto el estudio se enfocó en la introducción de los conceptos de reglas internas de conformación, en el pensar paramétrico, en el componente y las familias de elementos. Concibiendo la morfología final no como una entidad única y singular sino como una de las innumerables posibilidades de configuración del sistema. Así, se exploraron estrategias para la generación de sistemas, primero de manera analógica y luego con el desarrollo de un sistema digital paramétrico, con el cual se estudiaron varias posibilidades de conformación hasta llegar a una opción final. El resultado fue un espacio para sentarse, cuya regla de conformación se inspiraba en los conceptos de kirigami y origami, compuesto por elementos de madera, y plegable gracias a una serie de bisagras que pretendía generar varios tipos de asiento y espacios para el descanso. Considerando las debilidades de la experiencia precedente, se desarrolló un elemento ligero y desmontable, fácilmente transportable. Además se barnizó y pintó para garantizar una mayor resistencia a los factores ambientales y al uso. Sin embargo, los puntos débiles del trabajo fueron la fragilidad estructural debida a la linealidad de la conformación y a la repetición seriada de los elementos, que no permitió el uso deseado del objeto. Esta debilidad estructural fue también el reflejo de la falta de una buena estrategia de materialización. Por lo tanto, contrariamente a la experiencia precedente, el *Bicho 2* se enfocó en *el pensar avanzado* más que en *el hacer*.

Desde los resultados de ambos proyectos, considerando los logros, se corroboró la idea de repetir la experiencia, pero a la luz de los puntos débiles, se consideró necesario formalizar el proceso planteando una metodología de investigación que a través de etapas puntuales, actividades y

dinámicas de trabajo, incluyera e integrara *el pensar y el hacer avanzados* como parte de un único proceso desde el concebir el proyecto, pasando por su definición hasta llegar a su materialización. Comparando las dos experiencias, fue evidente también la necesidad de considerar los trabajos realizados no sólo como experiencias puntuales, sino como un *continuum* en evolución, donde cada sesión semestral se alimentara de las precedentes.

Y fue a partir del *Bicho 3* que el proyecto adquirió finalmente el carácter de investigación propiamente dicha. Definiendo una metodología de base, presentada en este escrito en la sección de Procesos Metodológicos, que aún con algunas pequeñas variaciones, dictadas por la retroalimentación de los resultados, se ha repetido para los *Bichos 3, 4, 5 y 6*. Esos cuatro pabellones últimos fueron ideados a través de procesos paramétricos generativos y asociativos, donde el proyecto no consistió en el diseño de cada pieza, sino más bien en la definición de las reglas internas de conformación, y se fabricaron digitalmente con corte láser. Las estructuras, autoportantes y desmontables, se realizaron con *triplay* de madera en láminas de entre 3 y 5 mm de espesor, para que se pudieran cortar fácilmente con láser, generando grosor y estructura con la conformación de las piezas. Y para garantizar una mayor durabilidad y optimizar las posibilidades de uso, los pabellones fueron acabados con barniz y pintura. Los sistemas digitales, desarrollados con *Rhinoceros*, *Grasshopper* y en las últimas versiones en *Python*, generaron las piezas, las desarrollaron, las enumeraron y las prepararon para su disposición en las láminas de corte. La fabricación fue ejecutada completamente por parte de los estudiantes que experimentaron la importancia de la organización que está a la base de estos tipos de sistemas.

En el *Bicho 3*, las reglas internas de generación se originaron desde la proliferación de elementos hexagonales organizados según el *close packing* y el principio del panal, armadas y unidas a través de juntas a encaje, con tornillos, clavos y grapas. El punto débil de este desarrollo fue el uso de las grapas en algunas de las uniones, porque, además de generar unas conexiones inestables, extendieron y dificultaron el tiempo de armado y con el tiempo se oxidaron, debilitando la estructura y procurando la fractura de algunas piezas. A pesar del inconveniente, el pabellón después de dos años sigue casi intacto y todavía se utiliza (Fig.2).



Figura 2: Daniela Frogheri, *Bicho 3*: obra terminada

El *Bicho 4* nació del estudio de sistemas arbóreos y de la disposición de elementos naturales según la *phyllotaxis*. Los elementos básicos unen las propiedades estructurales del hexágono con el sistema de costillas utilizado para la fabricación de los barcos, potenciado por la curvatura de cada una de las piezas. Los componentes son armados y unidos entre ellos a través de encajes, cinchos y tornillos de acero galvanizado, que en conjunto forman un cascarón estable y resistente. Así como para el pabellón precedente, el punto crítico del trabajo fue que, en algunas de las uniones realizadas con clavos, por el escaso espesor de las piezas, estas se desplazaron, generando la ruptura de algunos elementos, especialmente en la base. El pabellón permaneció por varios meses en el jardín de la Universidad, resistiendo de manera excelente a las variaciones climáticas. Luego se reubicó en uno de los patios interiores de la Escuela, donde por un largo tiempo se utilizó como espacio de descanso, estudio y reunión (Fig.3).



Figura 3: Daniela Frogheri, *Bicho 4*: obra terminada y uso

El *Bicho 5* se generó estudiando una conformación de espículas, junto con un sistema de crecimiento arbóreo. Se realizó un sistema constructivo compuesto por una piel estructural interna, fortalecida por una estructura interna. En base a la experiencia de los trabajos precedentes, uno de los retos fue realizar las conexiones sin utilizar clavos ni grapas. Se estudió un sistema de uniones a través de encajes y pestañas, que fueron parte de las piezas mismas y cinchos de plástico, que, por su disposición y cantidad, se convirtieron además en elementos de diseño (Fig.4). Este avance en las uniones y en el sistema constructivo permitió una optimización considerable de los tiempos de fabricación, y por lo tanto de los costos, y del tiempo de armado, garantizando además una eficiencia de la estructura y una gran calidad de los acabados.

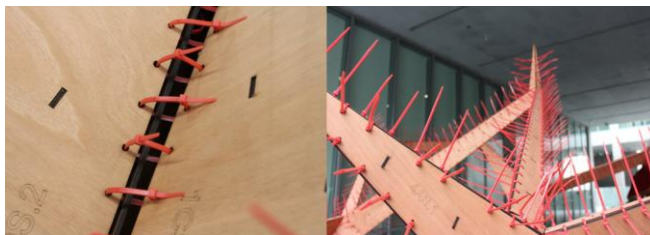


Figura 4: Daniela Frogheri, *Bicho 5*: las uniones se convierten en elementos de diseño

El pabellón, ligero y desarmable, se encuentra todavía en perfectas condiciones, y a lo largo de un semestre se ha ubicado en varios espacios en el campus universitario, tanto interiores como exteriores, donde se utiliza a diario.

Y el último de los pabellones generados hasta la fecha es el *Bicho 6*. El trabajo, siguiendo igualmente la metodología aplicada en los casos precedentes, se desarrolló a través de una sucesión continua de estudios y materializaciones realizados de manera analógica y también digital, en modalidad *bottom up* y *top down*, dictados por la continua retroalimentación entre el diseño del proyecto y las características intrínsecas de la materia. Las morfologías obtenidas, por la intensidad de los trabajos y por los materiales usados para los modelos, llegaron a un nivel de complejidad que impulsó el desarrollo de sistemas digitales avanzados y nuevas estrategias de materialización.

El proyecto seleccionado para la fabricación final, compuesto de elementos flexibles, invitó al desarrollo de estudios para doblar la madera, bien a través de cortes en las superficies de las piezas o bien utilizando planchas muy delgadas, y aprovechando la flexibilidad del material mismo. Y para poder llegar a la conformación final se realizaron varios prototipos, experimentando tipos de juntas y sistemas constructivos, además de estrategias para fortalecer las piezas. El resultado fue un pabellón de madera, generado a través de algoritmos geométricos con *Rhinoceros*, con *Grasshopper* y con *Phyton*, cuyas piezas -a pesar de su curvatura- son todas desarrollables. Su conformación permite el doblado, o siguiendo la veta del material, o -en los casos más extremos- a través de cortes realizados siguiendo la curvatura de las piezas, mediante un sistema que leyendo las isocurvas genera el patrón de corte, adaptándolo a cada caso. (Fig.5).

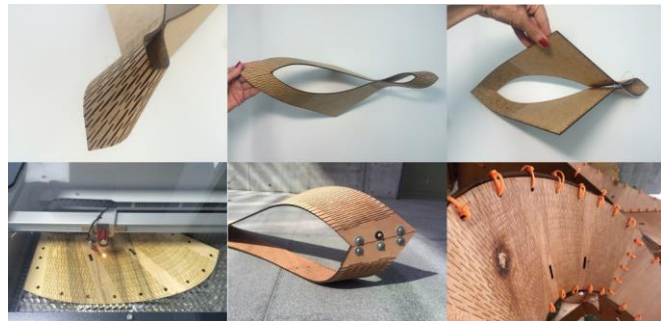


Figura 5: Daniela Frogheri, *Bicho 6*: estudios para el curvado de las piezas de madera

El sistema constructivo inspirado en el *Bicho 5* se compone de una piel externa, esta vez flexible y curvada, de madera de 3 mm, que, formando cáscaras cerradas en triángulos otorgan estabilidad a las piezas, y se fortalece con una estructura interna compuesta de elementos planos. Para el armado y la unión entre las piezas, se utilizaron encajes y cinchos. Ya sea por la cantidad de los estudios y prototipos desarrollados, como por la complejidad formal de las piezas y del pabellón, el *Bicho 6* determinó un gran avance respecto

a los precedentes, en cuanto aprendizaje por parte de los estudiantes y como consolidación de la metodología de trabajo

Sin embargo, justo por el alto nivel de los retos, hubieron numerosos momentos de dificultad, por los cuales se tuvieron que replantear completamente algunas decisiones. Los momentos más críticos fueron el paso desde la maqueta inicial de *foamy* a la escala real; así como el desarrollo de un sistema constructivo compuesto de elementos flexibles y resistentes a la vez; o los intentos de doblar la madera, ya que con los cortes o se volvía demasiado elástica, perdiendo las propiedades estructurales, o se rompía; y también el desarrollo de un sistema digital que garantizara la fabricación a través de piezas desarrollables, sin perder la organicidad de las formas. Otras dificultades surgieron por la complejidad de las uniones, que alargaron de manera notable el proceso de armado de los componentes.

A pesar de estas complicaciones, haciendo un balance, los logros fueron más que los puntos débiles. Los alumnos involucrados en el proyecto del *Bicho 6* comprendieron la importancia del *feedback* entre el diseño del objeto y su materialización, así como el gran potencial del diseño y de la fabricación digital. Y entendieron realmente la diferencia entre un proyecto puntual y un trabajo desarrollado dentro de una línea de investigación, donde se atesoran las experiencias precedentes, y donde -además del resultado final- el recorrido es fundamental. Por último, pero no menos importante, por la gran cantidad de estudios realizados en la etapa de trabajo grupal, entendieron también la importancia y las ventajas del trabajo colaborativo respecto al desarrollo de un proyecto de manera individual. El *Bicho 6* se encuentra actualmente en el jardín de la Universidad de [nombre omitido], donde se utiliza a diario (Fig.6).



Figura 6: Daniela Frogheri, *Bicho 6*: obra terminada

Conclusiones

El trabajo aquí presentado es una investigación que se encuentra todavía en proceso, por lo tanto, de momento no se pueden analizar ni evaluar del todo los efectos de la implementación *del pensar y del hacer avanzado* desde los primeros pasos de la formación del diseñador. Además, al nacer el trabajo desde la intención de fomentar el

conocimiento y dominio de las tecnologías actuales por parte del diseñador, a fin de manejar la complejidad de la relación con lo existente y elaborar soluciones actuales a problemáticas reales, se espera que la aplicación no se limite al desarrollo de las actividades del estudio de Elementos de la Arquitectura, sino que se realice a lo largo de toda la carrera y de la vida profesional. Por lo tanto, el impacto de la experimentación se enfoca a un alcance que se extiende hacia el futuro.

Sin embargo, recordando también que el trabajo nace desde la intención de eliminar aquella fractura entre la necesidad del diseñador de estar al día con el presente y las actuales metodologías de enseñanza, y considerando su desarrollo dentro de un estudio ya existente, de manera periódica, semestre tras semestre, se pueden empezar a discutir los primeros resultados.

Si se compara el estudio de Arquitectura en sus versiones más antiguas con las sesiones realizadas a partir del 2013 hasta la fecha, se nota como la implementación de las tecnologías avanzadas tuvo realmente un gran impacto, por potenciar la parte más valiosa, la experiencia de la fabricación de un objeto arquitectónico a escala real, 1:1.

Por las dificultades de construcción de elementos complejos, en las versiones tradicionales del curso, los alumnos desarrollaban ideas básicas, limitando no sólo su capacidad de construir sino también de concebir, proponiendo elementos arquitectónicos que no lograban alejarse de soluciones existentes ya vistas. Por esta sencillez y por los escasos conocimientos estructurales por parte de los estudiantes, a menudo las construcciones realizadas no eran capaces ni de aguantarse por sí solas, ni de resistir a los factores ambientales.

Así, al aparecer las posibilidades de materialización a través de la fabricación digital, se notó una revolución por parte de los alumnos a la hora de comprender e idear conformaciones complejas, no sólo de manera abstracta, sino relacionadas con el sitio, el clima y los factores ambientales, las funciones y los usuarios. Se abrió por lo tanto una nueva gama de posibilidades que permitieron imaginar cosas antes inimaginables.

El desarrollo del proyecto como sistema permitió a los estudiantes de primer año, aun sin conocimientos estructurales específicos, comprender las varias propiedades intrínsecas de la materia y de la forma, permitiéndoles de esta manera idear sistemas constructivos autoportantes, que se sostienen por sí solos, y que se relacionan con el lugar y con el ambiente.

La presencia de los *Bichos* en los jardines y en los espacios interiores de la Universidad de Monterrey (UEM) fomentó también la familiarización con elementos en un inicio inusuales. Y al ser utilizados por todos como espacios de descanso, después de suscitar sorpresa y curiosidad inicial, empezaron a ser parte integrante de lo conocido reconocible y por lo tanto entendibles e imitables. Estos están dando

también origen a nuevas líneas de lenguaje y de trabajo, pues, con cada nuevo *bicho* y con los precedentes se generan nuevas tradiciones, no sólo para los estudiantes del estudio de Elementos de la Arquitectura, sino para todos los demás.

Y haciendo un balance desde el inicio hasta la fecha, se pueden contabilizar una gran cantidad de logros: por cada experiencia en sí, por los pabellones desarrollados en cada estudio, y por como cada proceso se entiende como una sucesión evolutiva. Mientras, los fracasos fueron casi siempre en realidad sólo debilidades técnicas. Se convirtieron siempre en áreas de oportunidad, en motores para el desarrollo de nuevas soluciones materiales, y en nuevas estrategias de trabajo. Por lo tanto, se considera que en general los resultados fueron positivos.

Sin embargo, desde las últimas dos experimentaciones, se inició una inquietud que se propone convertir en argumento de estudio para las próximas etapas de la investigación. De momento, el punto más débil, aparte del tema de la relación con el contexto, es en general la definición de la forma. Pues, dichas relaciones con los factores externos tienen en realidad poco peso respecto a lo que se invierte en el desarrollo de las lógicas internas de generación de la forma. En definitiva, la relación con el exterior se puede considerar más bien pasiva, o *defensiva*, ya que si es verdad que los *Bichos* se sostienen, se protegen del sol, de la lluvia, del viento y generan espacios habitables para los usuarios, dichos factores no intervienen de manera profunda en las conformaciones morfológicas de los componentes en cuanto tales.

Siendo este un proyecto donde cada pabellón aprende de los éxitos y fracasos de los precedentes, dicha debilidad evidencia la necesidad de una evolución en el recorrido general de la investigación: si en un inicio la innovación consistió en fomentar el entendimiento y la generación de conformaciones complejas a través del diseño y la fabricación digital, hoy en día los avances de la tecnología mueven cada vez más al desarrollo de dispositivos capaces de comunicarse entre ellos, o con elementos de naturaleza variada, siendo capaces de recibir o generar datos, de intercambiar informaciones, de reaccionar a estímulos. Por lo tanto se necesita un avance hacia la interacción y la comunicación de los *Bichos* con su entorno, y con otros factores externos a sus propiedades intrínsecas formales.

Referencias

- Alexander, C. (1964). Note sulla sintesi della forma, Traduzione de Sergio Los. Milano, Il Saggiatore, Italia
- Cabrinha, M., Parametric Sensibility: Cultivating the Material Imagination in Digital Culture, in ACADIA 10, The Cooper Union, NY.
- De Kerckove, D. (1987). Inteligencias en conexión: hacia una sociedad de la web. Teleservicios Editoriales SL. Primera edición, Barcelona, España: Editorial Gedisa.
- De Kerckove, D. La piel de la cultura: investigando la nueva realidad electrónica. Barcelona, España: Editorial Gedisa.
- De Vos C., De Kerckove, D. (2013). Ecrit-Ecran: tomos 1,2,3; Paris, France: L'Harmattan.
- Elliott, D., & Elliott, R. (1980). El control popular de la tecnología. Barcelona: Gustavo Gili.
- Estévez, A. T. (Ed.). (2004). Genetic Architectures/Arquitecturas genéticas. (Bilingual edition). SITES.
- Estévez, A. T., Buxó, M. J., Casanovas, A., & Cirlot, L. (2007). Arte, arquitectura y sociedad digital. Edicions Universitat Barcelona.
- Flager, F. Welle, B., Bansal, P., Soremekun, G. and Haymaker, J., "Multidisciplinary Process Integration and Design Optimization of a Classroom Building, Information Technology in Construction",
- Gershenfeld, N. (2007). Fab: The Coming Revolution on Your Desktop-from Personal Computers to Personal Fabrication. Basic Books.
- Gerber, D. J., Parametric practices: models for design exploration in architecture.D. Des Thesis, Harvard University, Cambridge, USA, 2007.
- Gerber, D. and Solmaz, A. S., PARA-Typing the making of difference: Associative parametric design methodologies for teaching the prototyping of material affect, in CAADRIA 2012, Chennai, India, 25-28 April 2012, pp. 233-242.
- Gerber, D. and Lin, S.-H., Designing-in performance through parameterisation, automation, and evolutionary algorithms: H.D.S. BEAGLE 1.0, in CAADRIA 2012, Chennai, India, 25-28 April 2012, pp.141-150.
- Giedion, S. (1978). La mecanización toma el mando. Barcelona: Gustavo Gili.
- Guallart, V. (2014). The Self-Sufficient City: Internet Has Changed Our Lives but It Hasn'T Changed Our Cities. Yet. Anaheim, CA, USA: ACTA Press
- Holzer, D., Hough, R. and Burry, M., Parametric Design and Structural Optimisation for Early Design Exploration, International Journal of Architectural Computing, 5(4), 625-643, 2007.
- Iwamoto, L. and Scott, C., Material Computation: Voussoir cloud, in ACADIA 11, Banff, Alberta, 13-16 October, 2011, 52-55.
- Johnson, S. (2003). Sistemas emergentes: o qué tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software. Madrid: Turner.
- Mandelbrot, B. (1977). La Geometría Fractal de la Naturaleza, Traducción de Josep Llosa. 1o edición. Barcelona, España: Tusquets Editores, Metatemas
- McLuhan, H. M., & Powers, B. R. (1996). La aldea global: transformaciones en la vida y los medios de comunicación mundiales en el Siglo XXI. Barcelona: Gedisa
- Menges, A., Computational Morphogenesis: Integral Form Generation and Materialization Processes, in 3rd International ASCAAD Conference, 2007.
- Mumford, L. (2000). Técnica y civilización. Madrid: Alianza.
- Riether, G. and Wit A.J., Redefining Parametric Pedagogy, (2015) Proceedings from the 2015 Sigradi conference (pp.713-718)
- Sass, L. and Oxman, R., Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design, Design Studies, 27(3), 325-355, 2006.
- Wiener, N. (1948). Cibernética; o El control y comunicación en animales y máquinas. Segunda Edición España: Tusquets Editores, Metatemas MT8
- Wolfram, S. (2002). A New Kind of Science, First edition. Champaign, IL, USA: Wolfram Media Inc.

