
Tesis doctoral

Entre el Pensar y el Hacer Avanzados

Daniela Frogheri



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la licència [Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 4.0 Internacional \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia [Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

This doctoral thesis is licensed under the [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Entre el Pensar y el Hacer Avanzados

Tesis doctoral de Daniela Frogheri

Director Dr. Alberto T. Estévez

Programa de Doctorado en Arquitectura

“Arquitectura y Proyecto”

Línea de investigación “Arquitecturas Genéticas”

ESARQ – School of Architecture

UIC Barcelona – Universitat Internacional de Catalunya

Barcelona – Monterrey,

Enero, 2018

*Al pequeño Antonio, mi ahijado,
que con tan sólo cinco años,
como todos los niños,
es el mejor protagonista del fenómeno
del pensar y del hacer avanzado
con el deseo de que sea siempre capaz
de comprender su época
y disfrutar en pleno
las posibilidades de su presente.*

Agradecimientos

Este trabajo va mucho más allá de lo que se presenta en este documento, ya que por un lado surge desde un camino iniciado hace más de veinte años, a través de observaciones, inquietudes, intuiciones, ideas e intereses, que a lo largo del tiempo se han convertido en investigaciones, proyectos, experimentos y estudios, y que por otro lado es el resultado actual de un recorrido todavía en acto, que seguirá evolucionando. Todos estos factores, a pesar de traducirse aquí en una tarea individual compuesta de interpretaciones, ideas, definiciones y propuestas personales, contiene la valiosa aportación de una gran cantidad de personas. Por esto quiero agradecer a todas las personas que me han estado ayudando y que, en tiempos distintos y de diferentes maneras, hicieron posible que esta tesis se conformara y se llevara a cabo. Un agradecimiento especial va a Alberto T. Estévez, que además de dirigir esta tesis con infinita sabiduría y paciencia, ha participado en varios de los trabajos presentados con sus conocimientos y su gran experiencia; a Fernando Menezes-Carlos, con el cual colaboro desde hace más de diez años con un continuo intercambio de ideas e intereses, y que ha estado involucrado directamente en la mayoría de las investigaciones; a Guillermo I. López Domínguez, por sus preciosos y acertados consejos; al team del Fab Lab Monterrey, por la colaboración activa en las experimentaciones; y a todos mis alumnos, que, a lo largo de cinco años, han estado trabajando con gran entusiasmo, aprendiendo y proyectándose hacia lo nuevo. Agradezco también a Ana Karyna Gómez Pérez y a la Universidad de Monterrey por darme la posibilidad de desarrollar las investigaciones en un espacio y un entorno equipado con los mejores recursos; y a todos mis amigos, familiares y compañeros de trabajo que, cada uno a su manera, me han estado ayudando y escuchando en este largo recorrido. Por último, no por orden de importancia, sino más bien porque me gusta dejar lo mejor para el final, agradezco a mi madre Graziella, a mi padre Pasquale, a mi hermano Sebastiano, a Valeria y a mi Jaja Jubanna, que aun sin participar directamente en las investigaciones, desde siempre son el motor y la luz que me impulsa a superar mis límites y a desarrollar en pleno mi potencial.

ÍNDICE

1. Introducción	6
1.1 Presentación	6
1.2 Origen de la temática	9
1.3 Hipótesis y objetivo general	11
1.4 Metodología general	12
1.5 Premisas	14
1.5.1 Zoom out	18
a) Tecnología y medios de comunicación	18
b) El hombre alfabético y la cultura alfabética	19
c) El hombre electrónico y la cultura electrónica	21
1.5.2 Zoom in	23
a) Multisensorialidad, multimedia e isomorfismos	23
b) El pensar paramétrico	26
c) Emergencia y auto-organización	27
d) Relación interno externo	29
e) Relación entre materia y no-materia	30
f) El lado “oral” y “alfabético” de los objetos	41
g) Hacia lo vivo	42
1.6 Una primera definición	43
2. Desarrollo y Resultados: Investigaciones Aplicadas	48
2.1 Entre el Pensar y el Hacer Avanzados	50
2.2 Bichos: Una familia de pabellones en evolución	76
2.3 Arquitectura Sensible en Relación con el Contexto:	
Mimesis y Proxémica como Formas de Comunicación	101
2.4 Morfologías Resilientes: desde lo Digital a la Materia	127
2.5 TransSynaesthesia	155

3. Conclusiones	175
3.1 Discusión, conclusiones y áreas de oportunidad	175
a) Un fenómeno en acto y en evolución: la clave	175
b) Teoría y práctica	176
c) Fragmentación, visión general y consciencia	178
d) El dominio de la complejidad: forma y materia	178
e) Trascendencia	178
f) Adaptación, relación con el contexto y materia	178
g) Entorno digital y materia: procesos de generación de la forma	179
h) Seres vivos como parte activa de los sistemas	180
3.2 Notas Finales	181
4. Bibliografía	184
5. Anexo I	194

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación

Esta tesis se ha realizado dentro del Programa de Doctorado en Arquitectura de la Universitat Internacional de Catalunya (UIC Barcelona), y pertenece a la línea de investigación “Arquitectura y Proyecto” del Grupo de Investigación de Arquitecturas Genéticas (GRC) de la ESARQ, bajo la dirección del Dr. Alberto T. Estévez.

La tesis se compone de los siguientes capítulos: Introducción, Desarrollo y Resultados, Conclusiones, Bibliografía y un Anexo final. El capítulo de Desarrollo y Resultados consiste en un hilo conductor a través de una serie de investigaciones.

Entre las mencionadas investigaciones, que conforman el cuerpo de la tesis, dos se publicaron en la publicación indexada *Blucher Proceedings*, indexada también en *CumInCAD*, y fueron presentadas en el foro de alto impacto *SIGraDi 2016*, en la “XX Conferencia Iberoamericana de Gráfica Digital” (Buenos Aires, Argentina, Noviembre 2016). Otras dos, igualmente publicadas en *Blucher Proceedings* e indexadas en *CumInCAD*, fueron presentadas a su vez en el foro de alto impacto *SIGraDI 2017*, en la “XXI Conferencia Iberoamericana de Gráfica Digital” (Concepción, Chile, Noviembre 2017). Mientras que otra será publicada en la publicación indexada *AIP Proceedings*, indexada en Scopus, y presentada en la “3rd edition of the Symposium on Integrated Computational Tools for Advanced Manufacturing (ICT4AM)”, dentro del “15th International Conference of Numerical

Analysis and Applied Mathematics - ICNAAM 2017” (Thessaloniki, Grecia, Septiembre 2017). Esta se presentó también en una versión extendida en la “3rd International Conference of Biodigital Architecture & Genetics” de la ESARQ (UIC Barcelona, España, Junio 2017), con publicación en el correspondiente libro fruto de tal conferencia.

Cabe señalar la relevancia de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital SIGraDI en general, y en relación con el objeto de la tesis aquí presente, puesto que es el foro de más alto impacto en el mundo iberoamericano sobre estas cuestiones. Así, en acuerdo con la descripción de los miembros de SIGraDI,

“(...) la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital SIGraDI es una asociación sin fines de lucro que agrupa a arquitectos, urbanistas, diseñadores y artistas vinculados a los nuevos medios digitales, y constituye la contraparte de organizaciones similares en Europa (ECAADE), Norte América (ACADIA), Asia/Oceanía (CAADRIA) y Asia Occidental y África del Norte (ASCAAD). Realiza un Congreso Anual en el cual se debaten las últimas aplicaciones y posibilidades de las tecnologías gráficas, con la participación de relevantes especialistas internacionales. SIGraDI nació en el año 1997, con el primer Congreso realizado en la ciudad de Buenos Aires y desde ese momento ha organizado un congreso anual en distintas instituciones y países de toda Latinoamérica. El objetivo inicial de SIGraDI es el de contribuir en el desarrollo del debate académico sobre las Tecnologías de Información y Comunicación, las aplicaciones gráficas, los medios digitales y promover la producción y el avance del conocimiento científico en general, impulsando cambios referidos a la investigación, la transformación tecnológica y la educación. SIGraDI observa e impulsa con intenso esfuerzo el debate y la investigación en esta etapa de fuerte transformación tecnológica.” (SIGraDi, 2017)¹

¹ Disponible en: <http://congreso.sigradi.org/index.php/2017/Concepcion> [Consultado el 6 de octubre de 2017]

Lo cual evidencia por un lado la importancia de SIGraDI en sí, siendo la mayor plataforma de intercambio y difusión de conocimientos sobre temas de diseño computacional y fabricación digital en el entorno iberoamericano, gracias también a la producción de material en español, portugués e inglés, fomentando la generación de contenidos accesibles no sólo a un público angloparlante.

Por otro lado, la pertenencia a una red mundial de prestigiosas asociaciones gemelas llevan los mencionados intercambios y difusión de contenido a un alto nivel de internacionalización, que vincula a los investigadores de todo el planeta. Por último, pero no por orden de importancia, recordando la gran dificultad de los investigadores-arquitectos a la hora de encontrar espacios donde publicar sus trabajos de manera científica, sin tenerlos que forzar a otros campos para poderse insertar en plataformas o revistas de otras áreas, por la pertinencia con el objeto de esta tesis, SIGraDi se reveló como una excelente oportunidad en cuanto medio de difusión, intercambio y fuente de retroalimentación.

También se considera de gran importancia la participación en la “3rd International Conference of Biodigital Architecture & Genetics” de la ESARQ (UIC Barcelona), donde gracias a la presencia de un foro internacional de alto nivel, se fomentaron el debate y la difusión de la investigación aquí presente, lo cual constituye una aportación a la generación de contenidos para el Grupo de Investigación Arquitecturas Genéticas (GRC) de la ESARQ (UIC Barcelona).

La investigación en general, se ha desarrollado en la Universidad de Monterrey (UDEM) en México, donde desde el año 2013 esta autora

trabaja en el rol de *full professor* de Arquitectura e investigadora, impartiendo clases en los cursos de grado y de postgrado, dirigiendo y asesorando trabajos de tesis de graduación, coordinando academias y participando en el diseño de los planes de estudio y de los programas, y en el FabLab Monterrey en la misma UDEM, del cual es co-fundadora y co-directora; contando en algunas ocasiones con la valiosa aportación del Grupo de Investigación Arquitecturas Genéticas de la ESARQ (UIC Barcelona), a través de la participación del Dr. Alberto T. Estévez, y con un constante intercambio de ideas y conocimientos con Fernando Meneses-Carlos que ha estado involucrado en ellas desde el principio.

La realización práctica del trabajo ha sido posible también gracias a la participación de los alumnos, del *team* de investigadores del Fab Lab Monterrey y gracias a las instalaciones avanzadas del CRGS de la UDEM, por lo cual se pudieron experimentar materializaciones de prototipos y objetos arquitectónicos a escala real.

1.2 Origen de la temática

Esta tesis, iniciada oficialmente en el año 2015 con la inscripción al Doctorado en Arquitectura de la UIC Barcelona, se considera más bien como el resultado actual de un largo camino todavía en curso, que ve su origen a finales de los años 90, cuando, todavía estudiante de Ingeniería y Arquitectura en la Universidad de Cagliari en Italia, esta autora empezó a vivir en directo los cambios provocados por la Revolución Informática y Digital en su manera de pensar y de hacer las cosas, al desarrollar sus actividades de estudio, y en todas las capas de su vida cotidiana.

Dichos cambios, experimentados en un principio como inquietudes, percepciones, observaciones, intuiciones y vividos como transformaciones y metamorfosis, a lo largo del tiempo, han generado intereses que ha estado cultivando y afinando de varias maneras: a través de su trayectoria formativa posterior a la carrera universitaria, que incluye el Máster en Arquitecturas Genéticas de la ESARQ en la UIC Barcelona, cursado en el año 2006; después como arquitecta-ingeniera y diseñadora profesional en varios campos y escalas, y finalmente, en los últimos cinco años, como docente e investigadora en cursos universitarios de grado y posgrado, para convertirlos en estudios, investigaciones y proyectos, que constituyen el motor y en gran parte el contenido del trabajo aquí presente.

Si bien se puede identificar como motor principal de esta tesis su interés hacia el impacto de la Revolución Informática y Digital en el ser humano, en sus maneras de relacionarse con lo existente, de elaborar pensamientos y artefactos, y, como consecuencia, en el mundo en sí entendido en cuanto tal. Ahora bien, es evidente que el tema así planteado, siendo tan general y complejo, sería imposible de tratarlo de manera exhaustiva en una tesis doctoral.

Por lo cual se delimitó el **objeto** hacia lo que se dio por llamar “el Pensar y el Hacer Avanzados”, entendiendo con ellos las maneras de pensar y de hacer impactadas por la Revolución Informática y Digital, el **campo** hacia la arquitectura y el diseño, en un **marco temporal** que, aun abarcando de manera general un lapso de tiempo que va desde el inicio de la mencionada revolución a mediados del siglo XX hasta la actualidad, con un enfoque hacia las últimas décadas, se concentra más bien en los últimos cinco años, durante

los cuales se han desarrollado las investigaciones y los trabajos que se presentan en esta tesis.

1.3 Hipótesis y objetivo general

La tesis se desarrolla a raíz de la **hipótesis general** de que, desde la Revolución Informática y Digital se ha modificado profundamente la manera de pensar y de actuar del ser humano, afectando a su visión del mundo y, por ende, al mundo en sí: surge entonces lo aquí definido como el fenómeno del Pensar y del Hacer Avanzados.

Tal fenómeno, aplicado a la arquitectura y al diseño, permite la ideación y la materialización de entidades formales y espaciales antes unimaginables e imposibles de realizar, capaces de relacionarse con la complejidad de nuestra actualidad.

El Pensar y el Hacer Avanzados se manifiestan cada vez más en las ideas y trabajos de los arquitectos, diseñadores y de los creativos en general.

Sin embargo, tratándose de un fenómeno en acto y por lo tanto en continua variación, pasa a menudo que quienes lo experimentan no son plenamente conscientes del mismo. Por lo cual, a pesar de participar en su desarrollo, lo aplican todavía de manera fragmentada, reduciéndolo al uso puntual de ciertas técnicas o herramientas, desperdiciando así su potencial de trascendencia.

Por lo tanto el **objetivo general** de esta tesis es establecer una aproximación al fenómeno del Pensar y el Hacer Avanzados en Ar-

quitectura y Diseño, definiéndolo y aplicándolo al fin de generar conciencia hacia el mismo, explotando así al máximo su potencial.

El trabajo se ha realizado a través de cuatro investigaciones aplicadas, presentadas en los apartados que componen el cuerpo de la tesis. Tales investigaciones han sido realizadas con los propósitos de comprender, explorar, experimentar, formular y transmitir el potencial de las transformaciones y metamorfosis provocadas por la Revolución Informática y Digital en los procesos de generación de las formas y en su materialización física.

La definición del Pensar y el Hacer Avanzados nace de las mencionadas investigaciones y a su vez las alimenta, gracias a un *feedback* continuo entre teoría y práctica.

1.4 Metodología general

Estando esta tesis conformada por los apartados que se presentan en el capítulo de resultados, cada uno de ellos contiene su propia introducción y antecedentes, sus objetivos, su metodología, sus resultados, sus conclusiones explicados de manera específica en los mismos escritos.

Sin embargo, considerando que el hilo conductor general es el fenómeno del Pensar y del Hacer Avanzados en Arquitectura y Diseño, y considerando que cada apartado toca el tema según diferentes enfoques a través de investigaciones aplicadas, se consideró oportuno introducir unas premisas, a fin de permitir una visión general de la investigación y su completo entendimiento como unidad, más que por partes. Tales premisas consisten en la identificación de las ba-

ses del Pensar y el Hacer Avanzados, desde las cuales surge su definición.

Con el fin de evidenciar la relevancia de tal hilo conductor, y con la intención de mostrar el panorama completo del material de estudio tomado en cuenta a lo largo de este trabajo, las referencias bibliográficas y las fuentes consultadas se presentan en conjunto en la bibliografía general que compone el Capítulo 4 de esta tesis.

En cuanto a referencias y fuentes, cabe mencionar que dicha bibliografía presenta obras en varios idiomas como el castellano, el inglés, el italiano y el francés.

Como criterio general, se ha buscado consultar las obras en su idioma original para tener un acceso directo a los contenidos así como presentados por sus autores. Por lo cual, siendo los cuatro idiomas mencionados los que la autora de esta tesis domina mayormente, tal criterio se pudo aplicar en la mayoría de los casos.

Sin embargo, se acudió también a traducciones de algunas obras, al castellano o al italiano, siendo este último la lengua materna de la autora de esta tesis, y siendo el castellano el idioma del presente documento. En algunos casos debido también a la falta de acceso a las obras originales. Mientras que en otras ocasiones puntuales, para algunos textos complejos², a fin de garantizar la completa comprensión por parte de la autora.

² Véase por ejemplo Hofstadter, 1979/2003.

Para lo que concierne las citas, en los casos de textos en idiomas diferentes al castellano, se optó por la traducción a este mismo, para garantizar la fluidez del documento de la tesis en conjunto. Así, se acudió a las versiones traducidas existentes. Mientras que se realizó una traducción propia donde dicha traducción al castellano no existe: en estos últimos casos se adjuntaron los textos originales a pie de página, para proporcionar siempre un acceso directo a los contenidos “oficiales”.

Siempre tomando en cuenta el hilo conductor de esta tesis, los campos de interés abarcan varias áreas, que, desde la arquitectura, el diseño y el desarrollo de la tecnología, se extienden hacia la teoría de la información y en especial a la lingüística. Sin embargo, por la naturaleza de las cuestiones planteadas, los materiales tomados en cuenta, más que con un corte histórico o cronológico, se han considerado en cuanto a contenidos, por su propia aportación al fin del desarrollo de esta investigación.

1.5 Premisas: las bases del pensar y del hacer avanzados

Existe una relación de *feedback* continuo entre los avances de la tecnología y el desarrollo del ser humano, de su sociedad, su cultura, sus maneras de pensar y de actuar, lo cual afecta profundamente a su visión del mundo y a la vez al mismo mundo en cuanto tal.

En nuestra época los avances tecnológicos se pueden englobar dentro de aquel fenómeno que llamamos Revolución Informática o Revolución Digital, empezada a mediados del siglo XX y todavía en marcha, que por su carácter totalizante ha redefinido y redefine todos los aspectos de la vida del ser humano y del entorno que lo ro-

deja, a través de transformaciones y metamorfosis de las maneras de pensar y de hacer, generando lo que en esta tesis se da por llamar el Pensar y el Hacer Avanzados.

El Pensar y el Hacer Avanzados abarcan todos los campos y todas las capas de la vida del ser humano, donde ya se aplican a diario de manera más o menos consciente, ya sea a través de la modificación de costumbres y modalidades de actuar ya existentes, que es lo que identificamos como transformaciones, o ya sea con la generación de maneras de pensar y hacer totalmente nuevas, que antes de dicha revolución no se habrían ni siquiera podido imaginar, que es lo que llamamos metamorfosis (Beck, 2017).

En el campo de la arquitectura y del diseño, por su naturaleza fuertemente vinculada con la percepción e interpretación de lo existente que se refleja en la ideación de proyectos y artefactos materiales, dichas transformaciones y metamorfosis han dado origen a una verdadera revolución, sea por lo que concierne al arquitecto y al diseñador en sí, sus actividades y su rol, o sea en cuanto a sus artefactos entendiendo con ellos diseños, proyectos y objetos físicos.

Dichas transformaciones y metamorfosis ya están dándose, por lo tanto la arquitectura y el diseño, desde hace varias décadas, están fuertemente impactados por la Revolución Informática y Digital. De aquí el interés general hacia el Pensar y el Hacer Avanzados en Arquitectura y Diseño, como tema extremadamente relevante en nuestra actualidad.

Sin embargo comprender el presente y hablar de ello es siempre un reto complicado, ya que por el simple hecho de estar pasando, es

algo imposible a analizar en pleno. El Pensar y el Hacer Avanzados además, así como todo lo que tiene que ver con la tecnología digital y en red, se encuentran en continuo desarrollo, evolucionando de manera rápida y no lineal, con variaciones que llevan a mutaciones a menudo impredecibles e inesperadas, lo cual hace todavía más complejo su entendimiento (Gere, 2009).

Por otro lado, hay que decir que la Revolución Informática y Digital, aun estando en curso, ya tiene medio siglo desde que empezó, pasando por varias etapas que permiten identificar las continuas variaciones, elementos fundamentales y conectores a los cuales se pueden reconducir las bases del Pensar y el Hacer Avanzados tan dinámicos y mutantes.

Cabe añadir también que la capacidad de cálculo, con el manejo de elevadas cantidades de datos en tiempos reducidos, permiten la obtención de elaboraciones e interpretaciones de fenómenos complejos de formas multimediales en tiempo real o casi, revolucionado así aquella capacidad antes mencionada de comprender y analizar el presente, que, aun sin llegar todavía a una plena comprensión, ha ido haciendo unos pasos enormes respecto al pasado, generando nuevas formas de conciencia antes inalcanzables.

A estas consideraciones generales se juntan unas más puntuales que nacen desde más de cinco años de docencia en el área de la arquitectura y del diseño, abarcando diferentes etapas de la formación del diseñador, desde los primeros semestres de arquitectura a cursos de posgrado, durante los cuales se detectaron algunos puntos que son los siguientes.

Por un lado, los alumnos más jóvenes que todavía no tienen algún contacto con el diseño computacional, muestran una incapacidad de imaginar conformaciones complejas, motivada en la mayoría de los casos por el miedo de no saberlas describir, representar o realizar; mientras que muchos de los alumnos que ya están terminando la carrera o de maestría, que ya manejan varios softwares, conciben el uso de la computación con una aproximación obsoleta, todavía basada en la idea de hacer mejor y más rápido lo que se hacía “antes a mano”, pensando en el software o en la computadora como herramientas de dibujo más que de diseño.

Por otro lado, y esta vez por parte de todas las generaciones de alumnos, se nota una incapacidad de observar lo existente de manera directa, sin pasar por interpretaciones ya establecidas, sean estas las geometrías clásicas, o sean estas las referencias al mundo construido que nos rodea, y por lo tanto, a las tipologías arquitectónicas consolidadas; a la vez, siempre por parte de todos, se manifiesta la gran inquietud de querer conocer y aprender a manejar aquella complejidad, ya presente en todas las demás capas de sus vidas.

De aquí, entre lo general y las consideraciones puntuales, surgió la necesidad de aproximarse al fenómeno del Pensar y del Hacer Avanzados en Arquitectura y Diseño, por un lado a través de la identificación de aquellas bases en común que los caracterizan, englobando su estructura en cuanto fenómenos y sus variaciones, y por otro a través de aplicaciones reales que retroalimentan sus definiciones, a fin de fomentar una mayor conciencia hacia los mismos por parte de quien los aplica o se propone hacerlo, y de contribuir a su desarrollo evolutivo.

1.5.1 Zoom out

a) Tecnología y medios de comunicación.

Para comprender las bases del Pensar y del Hacer Avanzados es necesario hacer un *zoom out* desde la Revolución Informática y Digital de donde proceden, tomando en cuenta algunas teorías desarrolladas por Marshall McLuhan entre los años '60 y '80 sobre el impacto de los medios de comunicación en el ser humano, la sociedad y la cultura en general, retomadas por su asistente Derrick de Kerckhove, que todavía las sigue actualizando con un enfoque hacia la digitalización masiva y el Internet, en todas sus evoluciones.

En los años '60, cuando la Revolución Informática apenas se estaba asomando y sus manifestaciones se podían todavía reconducir casi completamente a la electricidad, los lingüistas, y entre ellos en especial Marshall McLuhan, empezaron a estudiar los cambios que estaban pasando en su época, debidos a las nuevas tecnologías identificadas a la vez como medios de comunicación.

La necesidad de comprender su presente, cuyos caracteres estaban modificando rápidamente todos los campos del conocimiento y las actividades del hombre, llevaron a McLuhan a explicar lo que estaba pasando en comparación con el pasado, a través de la comprensión de los avances de la tecnología, entendiendo por ella los medios de comunicación. Entre los medios de comunicación más relevantes, identificaba la palabra hablada, la palabra escrita y por lo tanto las formas de escritura, el alfabeto griego y la electricidad, definiendo como “hombre electrónico” y “cultura electrónica” las de su época, en contraposición al “hombre alfabético” y su “cultura alfabética”, con

continuas referencias al “hombre oral” y la “cultura oral” (McLuhan, 1962/1985).

b) El hombre alfabético y la cultura alfabética.

El primer gran cambio fue el pasaje desde la cultura oral a la cultura escrita, y en especial la escritura a través del alfabeto griego, entendiéndose con ello el alfabeto fonético fenicio al cual se añadieron las vocales (Bottero, 1995).

El alfabeto griego tiene el poder de fragmentar la realidad en partes abstractas: a cada sonido corresponde un signo o grafema; sin embargo estos signos tienen la cualidad de ser totalmente desconectados de cualquier tipo de objeto, figura, entidad o significado; por lo tanto, se realiza una partición totalmente a-contextual de la realidad, a través de la cual se puede después componer cualquier palabra que corresponde a entidades existentes o a cosas pensadas, ya sean elementos materiales o intangibles, sentimientos, acontecimientos, etc.

El alfabeto a la vez divide, fragmenta, desconecta y permite componer y configurar; además, la composición que procede del alfabeto es ordenada de manera secuencial, por lo cual define entidades únicas y delimitadas, que para su comprensión no necesitan del contexto y no dejan espacio a la arbitrariedad ni a la interpretación.

Visto de esta manera, se considera al alfabeto griego como la primera máquina universal (De Vos, De Kerckhove, 2013), pero también como un sistema de sustitución entre fonema y signo, que permite al hombre nombrar y representar cualquier cosa a través de la escritura.

ra, generando una nueva traducción del mundo y una nueva organización de lo existente y del pensar.

Tal partición, a decir de McLuhan y de los lingüistas, está fuertemente relacionada con el concepto de átomo y de mónada, pero también, gracias a su desconexión respecto al contexto, a la concepción de las formas platónicas y de la geometría euclidiana. Además de fomentar el nacimiento de la democracia, del individualismo, del pensamiento racional, de los conceptos de secuencia y sucesión ordenada, y finalmente de la mecanización.

El pensamiento alfabético, además de la abstracción, contiene en sí un alto poder de selección y simplificación ya que consolida en una única forma o una única entidad variaciones de la misma, mostrando una sola entre ellas como verdadera y eliminando las otras posibilidades como falsas, imperfectas o irrelevantes. En vez de considerar versiones diferentes de la misma palabra hablada, se consolidan en una única forma escrita, como diferentes versiones de un mismo relato oral. Se depuran llegando a una sola a la hora de escribirlo. Pero también considerando las formas, las infinitas posibilidades formales que se interpretan como imprecisiones de entidades abstractas perfectas y regulares. Como la circunferencia, el cuadrado, el triángulo, sólo por citar algunas, inexistentes en cuanto tales en la naturaleza, pero bien consolidadas como conceptos. Lo cual desplaza la visión de la cosa desde "lo que es" a lo "que se ha consolidado", descartando muchas de las opciones coexistentes, reduciendo la multiplicidad de los sonidos, de los cuentos, de las formas, y de todo lo demás, al concepto de una realidad compuesta de elementos cerrados, únicos, a través de un proceso de selección y de exclusión.

Entre las maneras de hablar, de contar y entre las formas, sólo se consideran algunas mientras se omiten otras; así pasa también con los sentidos, donde el privilegiado es la vista, dejando de lado los demás, perdiendo aquella multi-sensorialidad característica de la comunicación oral.

Otra cuestión es la especialización, hija también de la fragmentación, que fomenta una visión de la realidad, que aquí llamaremos "atómica" a través de particiones que hacen difícil la percepción del todo.

c) El hombre electrónico y la cultura electrónica.

La electricidad, como medio de comunicación, seguida por la electrónica, la digitalización y la conexión en red, inicia una verdadera revolución en relación al mundo alfabético.

La primera diferencia, y la más importante, se encuentra en el sistema que representa la realidad, o mejor, la traduce: si el alfabeto hacía corresponder a cada sonido un signo, con la digitalización podemos hacer corresponder a cualquier cosa combinaciones de dos estados, indicados con las cifras "0" y "1", que consisten en la condición mínima para poder generar diversidad: dos entidades o dos estados diferentes. A través de estos dos estados, no sólo podemos escribir palabras, sino que podemos realmente re-leer y re-escribir todo el mundo.

"La electricidad está imponiendo su carácter en todos los territorios que antes pertenecían a la era industrial y también a una época mucho más amplia, la del alfabeto. El e-principio está conquistando todos los ámbitos antes dominados por el a-principio, el del alfabeto que acom-

pañó y alimentó a la era precedente, la de la mecánica. Está aplastando todo en bit." (De Kerckhove, 2001. Pág. 22, trad. propia).³

Entidades de naturalezas distintas se pueden traducir al mismo "idioma", que consiste en un lenguaje binario compuesto sólo de dos elementos, cuyas combinaciones pueden reproducir y devolvernos todo, como posibilidad.

Tal característica de traductor universal de la electricidad, una vez trasladada a la digitalización y conectada a través de Internet, determina la magnitud de la Revolución Informática y Digital, que con su capacidad de llegar a todos y a todo, afecta al ser humano de una manera mucho más totalizante que todos los demás medios de comunicación precedentes.

"La digitalidad puede ser considerada como un marcador de cultura porque abarca tanto a los artefactos como a los sistemas de significación y comunicación que marcan con mayor claridad nuestra vida contemporánea en relación con los demás" (Gere, 2002. Pág. 16, trad. propia).⁴

De aquí la capacidad de comunicación entre entidades similares o de diferente naturaleza, sean personas, seres vivos, objetos produ-

³ **Texto original, en italiano en la fuente consultada:**

"L'elettricità sta imponendo il suo carattere in tutti i territori che prima appartenevano all'età industriale, e anche a un'età molto più vasta, quella dell'alfabeto. L'e-principio sta conquistando tutti gli ambiti prima dominati dall'a-principio, quello dell'alfabeto che ha accompagnato e alimentato l'era precedente, l'età meccanica. Sta frantumando tutto in bit."

⁴ **Texto original, en inglés en la fuente consultada:**

"Digitality can be thought of as a marker of culture because it encompasses both the artefacts and the systems of signification and communication that most clearly demarcate our contemporary way life from others."

cidos por el ser humano, cosas materiales o datos intangibles, con el potencial de conectarse entre ellas, siendo parte de un mismo sistema o de sistemas que interactúan.

Dicha capacidad de comunicación, junto con la velocidad de cálculo y con el manejo de elevadas cantidades de números y de datos por parte de las computadoras, son las tres características fundamentales de nuestra época, desde donde surgen los fundamentos de lo que llamamos el Pensar y el Hacer Avanzados, y que veremos enseguida.

1.5.2 Zoom in

a) Multisensorialidad, multimedia e isomorfismos.

Unas de las características que emergen desde la capacidad de conexión de lo digital y de su potencial de traductor universal, es la de permitir la generación de información multisensorial, capaz no sólo de involucrar a todos los sentidos, sino también de conectarlos de maneras inusuales, antes inimaginables, generando el concepto de *multimedia*.

Lo cual define nuevas maneras de observar lo existente y de interpretarlo, así como nuevas maneras de concebir ideas y proyectos, no únicamente con representaciones multisensoriales, sino también con isomorfismos y sistemas de sustitución que a través de correspondencias, dan origen a asociaciones antes imperceptibles; de esta manera se empiezan a producir informaciones con y para todos los sentidos, fomentando la comprensión y la concepción de nuevas realidades. Cosas que antes se leían, ahora se pueden escuchar, ver, tocar o viceversa. Sólo por citar unos ejemplos, basta pensar en el gran impacto de los mapas visuales, fijos o dinámicos, a través de

los cuales datos que se solían solamente leer, toman formas, colores y otras entidades que evidencian características incomprensibles a través de una simple lectura secuencial de letras o cifras. O los lenguajes de programación visual (VPL), que a través de sustituciones, llevan los algoritmos al mundo de las formas.

La traducción universal, al unir los sentidos y al conectar cosas diferentes entre ellas, permitió reunir lo que el alfabeto había fragmentado desde donde nace, o mejor renace, el concepto de estructura y con él el concepto de sistema, que provoca una nueva consciencia "del todo". Donde este "todo" es mucho más importante que el episodio o la cosa puntual. Y de tal consciencia "del todo" surge nuestra manera de concebir las cosas, de pensarlas, de hacerlas y, por ende, nuestra actual visión del mundo.

"La mecanización se logra con la fragmentación de un proceso cualquiera y la disposición en serie de los fragmentos así obtenidos. No obstante, tal y como lo demostró David Hume en el siglo XVIII, no hay principio de causalidad en la mera secuencia. El hecho de que una cosa siga a otra no explica nada. Nada sigue al seguir, excepto el cambio. El cambio de sentido más importante se dio con la electricidad, que acabó con la secuencia haciendo que todo se vuelva instantáneo. Con la velocidad instantánea, las causas de las cosas empezaron a asomarse en la conciencia, como habían dejado de hacerlo cuando las cosas se disponían secuencialmente en la correspondiente concatenación" (McLuhan, 1964/1996. Pág. 33)

"El medio es el mensaje. (...) en el momento en que la secuencia deja paso a la simultaneidad, ¿se encuentra uno en el mundo de la estructura y de la configuración? ¿Acaso no es lo que pasó en la física y en la pintura? ¿Y en la poesía y en las comunicaciones? Se han mudado segmentos especializados de atención al campo total, y ahora pode-

mos decir con toda naturalidad: «El medio es el mensaje». Antes de la velocidad eléctrica y del campo total, no era obvio que el medio fuera el mensaje. El mensaje, según parecía, era el «contenido», y la gente preguntaba de qué trataba un cuadro. Sin embargo, nadie preguntaba nunca de qué trataba una melodía, una casa o un vestido. En estos temas, se conservaba cierto sentido de conjunto, de la forma y de la función en una única entidad. En la edad eléctrica, esta idea integral de estructura y de configuración se ha vuelto tan predominante que la pedagogía teórica ha echado mano al asunto. En lugar de trabajar «problemas» especializados de aritmética, el enfoque estructural sigue ahora las líneas de fuerza del campo de los números y tiene a los niños pequeños meditando sobre la teoría numérica y los «conjuntos»." (McLuhan, 1964/1996. Pág. 34-35).

Al consolidarse el concepto de sistema y de estructura se empiezan a concebir las cosas como un conjunto de elementos y reglas que las relacionan entre ellas y con lo demás, llevándonos a dominar los conceptos de leyes internas de conformación y de relación con el contexto como parte del sistema mismo. Lo cual, a su vez, hace fijarnos en “cómo son las cosas” ya que necesitamos conocerlas en cuanto tales (Wolfram, 1984).

Desde los conceptos de estructura, leyes de conformación y reglas de relación, surge también el interés en entender las cosas no sólo por “cómo son” sino por “cómo se hicieron” las que ya existen, y por ende, la preocupación por “cómo se harán” las que ideamos.

Así que en general la atención va, en conjunto, hacia las cosas cómo son y cómo se hicieron, y hacia las cosas como serán y cómo se harán, además de cómo se conectan entre ellas y cómo se relacionan con lo demás.

b) El pensar paramétrico.

La necesidad de entender cómo se hicieron las cosas y de planear cómo se harán, contiene a su vez los conceptos de procesos y reglas de conformación, de generación y de crecimiento, que junto con el de relación, llevan directamente a pensar en el sistema como una entidad con partes fijas y variables, lo cual nos remite al pensar paramétrico.

El pensar paramétrico, no es algo nuevo ya que está contenido en los conceptos de algoritmo y de álgebra documentados por lo menos desde el IX siglo d.C. (Penrose,1989) y, aunque de manera más escondida, en los conceptos de taxonomía y de evolución. Sin embargo esta nueva conciencia de la estructura reintroduce una cuestión que el pensar alfabético había descartado: la coexistencia de muchas versiones de una misma realidad, que empiezan a ser concebidas en el momento en que, desde una estructura en común, nace la posibilidad de generar familias de cosas, sean naturales o sean sistemas artificiales.

Pensar en una misma estructura que con las mismas reglas de conformación y generación puede originar entidades diferentes, que varían según factores de diversificación o circunstancias, externas o internas a las mismas entidades, es propio de los comportamientos de los seres vivos y nos lleva a pensar en las cosas como entidades bien estructuradas y definidas, pero a la vez no estáticas, sino variables, conectables y conectadas.

El pensar paramétrico, trasladado al mundo del diseño y de la arquitectura, se convierte en el diseño paramétrico, posible gracias al di-

seño computacional y a los lenguajes de programación visual (VPL) que desde el diseño algorítmico llevan a los algoritmos geométricos.

Nacen nuevas maneras de diseñar, de concebir las formas, de pensar en los objetos y de desarrollar proyectos: además de poder idear y generar conformaciones antes inimaginables, el proyecto se traslada desde el dibujo del objeto puntual hacia el diseño de una estructura que contiene en sí las reglas de conformación y las posibilidades y los rangos de variación.

c) Emergencia y auto-organización: primer puente hacia el Hacer Avanzado.

El “cómo se hicieron” las cosas y el “cómo se harán”, también pone sobre la mesa la cuestión del estudio de los procesos de generación de las formas, que no han de entenderse sólo bajo el punto de vista de las geometrías sino también de los fenómenos, o sea desde la observación de “lo que pasa”, observando formas, comportamientos, patrones, etc.

El entender las cosas “como son” y no por lo que no son, va de la mano con la observación de “lo que pasa”.

Al considerar estos factores e intentando entender las cosas “cómo son” y “cómo se comportan”, se empezó a descubrir o comprender algo que antes se desconocía totalmente: los sistemas emergentes y auto-organizados, que abarcan una innumerable cantidad y diversidad de fenómenos pertenecientes a campos completamente diferentes entre ellos, como el comportamiento social de ciertos animales, ciertos patrones de crecimiento, ciertas reacciones químicas, las características de algunos materiales, la expansión de las ciudades, la

difusión de enfermedades, sólo por citar algunos, que introdujeron nuevos conceptos de sistemas y de estructura nunca antes imaginados de esta manera (Johnson, 2001/2003).

Lo cual mueve la atención hacia todas aquellas entidades, sean fenómenos o formas, que se habían ignorado, descartado, o en el mejor de los casos simplificado de manera drástica, a menudo sesgada, por ser demasiado complejos, no representables o reproducibles, y sobre todo no reconducibles a las geometrías clásicas conocidas.

“¿Por qué a menudo se describe la geometría cómo algo ‘frío’ y ‘seco’? Una de las razones es su incapacidad de describir la forma de las nubes, una montaña, una costa o un árbol. Ni las nubes son esféricas, ni las montañas cónicas, ni las costas circulares, ni la corteza es suave, ni tampoco el rayo es rectilíneo. En términos más generales, creo que muchas formas naturales son tan irregulares y fragmentadas que, en comparación con Euclides (...) la naturaleza no sólo presenta un grado superior de complejidad, sino que ésta se da a un nivel completamente diferente. (...) La existencia de estas formas representa un desafío: el estudio de las formas que Euclides descarta por ‘informes’, la investigación de la morfología de lo ‘amorfo’”. (Mandelbrot, 1977/2009. Pág. 15).

Así que, por un lado se empieza a concebir y dominar cada vez más el concepto de sistema y de estructura, compuesto por elementos y reglas cuyas leyes de conformación y relación lo definen diferenciándolo de lo demás; así se empieza a comprender que hay varias maneras de generar dichas reglas de conformación y de relación, que a veces son establecidas *a priori*, con aquellos procedimientos que llamamos *top-down*, mientras en otros casos surgen desde abajo y de manera emergente, en modalidad *bottom-up*, o, en la mayo-

ría de los casos, desde una combinación entre ambas. Lo cual además de definir nuevas maneras de pensar, fomenta el desarrollo de nuevas maneras de hacer, como por ejemplo los ejercicios de *form finding*, donde el concepto de auto-organización se convierte en una de las bases del Hacer Avanzado.

d) Relación interno externo: segundo puente hacia el Hacer Avanzado.

No es difícil pensar que las herramientas, desde las más sencillas a las más avanzadas, son extensiones de nuestro cuerpo y de nuestros sentidos, lo cual no es una novedad: desde la antigüedad el ser humano ha estado ideando y fabricando artefactos para recuperar habilidades perdidas, potenciar las que tiene o alcanzar otras que nunca tuvo; los medios de comunicación también son extensiones, y según su naturaleza nos llevan hacia adentro o hacia afuera. El alfabeto es un medio de introspección, que al hacernos comunicar con nosotros mismos, fomentó el desarrollo de un yo interno desconocido a las culturas orales, más enfocadas hacia las relaciones con los demás.

El hombre electrónico-digital y en red, desde el estado introyectivo pasa al estado de extroyectivo, debido a la multisensorialidad digital, a las modalidades de relacionarse con la información y, sobre todo, por el nacer de un nuevo concepto de espacio, el ciberespacio, que existe en cuanto tal, pero es intangible, lo cual proyecta el pensamiento hacia fuera; el todo, fortalecido por Internet donde nacen los conceptos de “inteligencia colectiva” (Lévy, 1997) y de “inteligencia conectiva” (De Kerckhove, 2014).

Estas modificaciones del concepto del yo, hacen que por un lado se haya desarrollado aún más aquel individualismo nacido con el alfabeto, llevado a la necesidad de la personalización extrema, que también se conecta con el pensar paramétrico y con el concepto de estructura, y por otro generan la necesidad de conexión continua de aquel individuo “hiperpersonalizado” para quien todo tiene sentido sólo si se puede comunicar o compartir con los demás. Las tecnologías actuales no sólo extienden el cuerpo y los sentidos, sino también la mente y el sistema nervioso central (De Kerckhove, 2001).

e) Relación materia y no-materia: tercer puente entre el Hacer Avanzado.

- Desmaterialización: de los átomos a los bits.

El concepto de ciberespacio introduce la cuestión de la relación entre lo intangible y la materia, que también se ha redefinido y reinventado en varias etapas, posibles por aquella capacidad de traducción universal de lo digital.

El primer paso fue la desmaterialización de lo material, pasando de los átomos a los bits (Negroponte, 1996), a través de procesos que empezaron desde el inicio de la Revolución Informática y Digital, y que se mantienen todavía cada vez con diferentes matices. En algunos casos completamente consolidados, y en otros todavía no entendibles o no aceptados por cuestiones prácticas, culturales, económicas o de otra naturaleza. Sin entrar en el detalle, hay que mencionar que el paso de los átomos a los bits, aunque se considera casi siempre sólo bajo el punto de vista de los cambios que ha producido en las actividades cotidianas del ser humano, tiene un gran poder de metamorfosis, generando una infinidad de nuevas posibilidades.

Algunos ejemplos pueden ser la desmaterialización de la escritura o de la lectura, y por lo tanto la desmaterialización de cuadernos, libretas, libros, de la fotografía impresa, de objetos como el reloj o un despertador, sólo por citar algunos, que además de volverse inmateriales, a menudo desaparecen como entidades en sí y se concentran en artefactos que no son ninguno de ellos y que a la vez los contienen todos. Como las computadoras, o los smartphones, que no los substituyen sino que realmente generan aquel “otro” que antes no existía y que se concibe y se usa de otras maneras, generando hasta nuevas costumbres.

Esta desmaterialización, en el mundo del diseño y de la arquitectura, empezó en los años 60, con el CAD (*Computer Aided Design*) concebido como un medio de dibujo para hacer más rápido y mejor lo que se hacía a mano; que pronto se convirtió en una poderosa herramienta de diseño, con la cual se replantearon completamente no sólo las maneras de dibujar, sino más bien de diseñar, originando nuevas posibilidades de concebir el espacio, las formas y el proyecto en cuanto tal.

La construcción de objetos tridimensionales en el espacio digital, evidencia también otro aspecto de aquel poder de reunión que permite la consciencia del todo antes mencionado, lo cual en diseño y arquitectura determina otro gran cambio. Por varias cuestiones que no se tratarán ahora en esta investigación, el proyecto tradicional a menudo se desarrolla a través de fragmentaciones, no sólo a la hora de representar el objeto arquitectónico, sino más bien a la hora de pensarlo: idear un objeto arquitectónico empezando desde una planta y realizando los alzados en un segundo momento, no es algo extraño en el desarrollo de un proyecto arquitectónico tradicional. Si es

verdad que el diseñador tiene en su mente una visión completa del espacio que desarrolla, su fragmentación en planos, típica del pensamiento secuencial alfabético, además de minar el concepto del todo, excluye a priori ciertas formas favoreciendo otras. El entorno tridimensional desarrollado en el espacio digital, desde el inicio, permite una visión holística del objeto arquitectónico desde que se concibe, lo cual participa en la naturaleza conceptual y formal del mismo.

Además de afectar al concepto de pensar, surgió algo totalmente nuevo, que establece una conexión entre el pensamiento y la acción, hasta entonces desconocida: con la existencia del ciberespacio, el dibujar se mezcla con el hacer.

El objeto tridimensional, obtenido a través de la modelación o a través de procesos generativos, es una entidad que a la hora de existir en el espacio virtual, pasa desde la categoría de las cosas pensadas a las cosas “hechas”; si es verdad que esta manera de pensar se podría aplicar también al dibujo a mano, considerándolo como algo que se hace, es también verdad que el objeto tridimensional, que empieza a existir en nuestras computadoras, tiene unas propiedades que una representación dibujada en una hoja plana no tiene, aunque sea material. Los objetos desarrollados en el entorno virtual se pueden mover, rotar, desplazar, podemos verlos desde lejos, desde cerca, entrar en ellos, modificarlos en tiempo real, lo cual nos muestra cómo realmente son “algo que se hizo”, y no solamente “algo que se pensó o representó”.

Lo cual ya no es una transformación de lo que se hacía antes, sino que más bien se trata de una metamorfosis, que genera un nuevo hacer, inmaterial, pero no menos verdadero.

Por lo cual podríamos casi decir que los objetos así construidos en el ciberespacio son las primeras formas de fabricación digital, y sin duda podemos considerar el paso de los átomos a los bits como el segundo puente desde el Pensar Avanzado al Hacer Avanzado.

- *Materialización: de los bits a los átomos.*

El paso inmediatamente sucesivo fue la materialización de lo inmaterial que empieza con la fabricación digital, CAM (*Computer Aided Manufacturing*), iniciada en los '60, como el CAD, que otra vez gracias al poder de traductor universal de lo digital, conecta directamente el mundo de la realidad virtual con la materia, y por lo tanto permite traducir los objetos fabricados en el ciberespacio en entidades físicas, convirtiendo los bits en átomos.

“Poner tinta en el papel, y poner datos en un CD-ROM, están separados por una división entre el viejo mundo analógico de los átomos y el nuevo mundo digital de los bits. La actual organización de la industria y de la academia, de la investigación científica y del desarrollo de productos, más que desmantelarla, impone esa distinción. (...) Cuando llegué al Media Lab me encantó descubrir que no estaba solo en la lucha por unir el mundo de lo físico y lo digital en lugar de separarlos. (Gershenfeld, 1999. Preface. Pág. X-XI, trad. propia).⁵

⁵ **Texto original, en inglés en la fuente consultada:**

“Putting ink on paper, and data on a CD-ROM, are separated by a divide between the old analogue world of atoms and the new digital world of bits. The existing organization of industry and academia, of scientific research and product development, serves to enforce rather than dismantle that distinction. (...) When I arrived at the Media Lab I was delighted to find that I was not alone in struggling to bridge rather than bound the digital and physical world.”

“La división esencial entre hardware y software representa la organización de la computación desde el punto de vista del diseñador del sistema, y no del usuario. En las tecnologías avanzadas más exitosas, no es posible aislar la forma de la función. (...) En la década de 1980 en centros como el Media Lab del MIT, las personas se dieron cuenta de que las implicaciones de una representación digital van más allá de la confiabilidad: el contenido puede trascender su representación física.” (Gershenfeld, 1999. Pág. 6-7, trad. propia).⁶

Las máquinas de fabricación digital nacen desde la unión de la fragmentación alfabética y el efecto totalizante de la tecnología digital, a través de la computación, ya que se comunican directamente con los archivos de las computadoras, y por lo tanto con los objetos construidos en el entorno virtual, a través de rutinas de movimientos que se juntan con herramientas que quitan o ponen material de diferentes maneras, a veces también con cambios de temperatura, para traducirlos en objetos físicos.

Desde los primeros usos de la fabricación digital, limitados a la industria, se empezaron a manifestar aquellos cambios que con el pasar de los años han modificado completamente no solo las modalidades de construcción de las cosas sino el concepto mismo del hacer y las cosas en sí. Además de permitir la fabricación de manera rápida y precisa, y construir formas antes inalcanzables, una de las

⁶ **Texto original, en inglés en la fuente consultada:**

“The essential division in the industry between hardware and software represents the organization of computing from the system designer’s point of view, nor the user’s. In the successful mature technologies it’s not possible to isolate the form and the function. (...) In the 1980s at centers such as MIT’s Media Lab, people realized that the implications of a digital representation go far beyond reliability: content can transcend its physical representation.”

primeras posibilidades que emergen desde la fabricación digital es el renacimiento del concepto del *non standard*, que consiste en poder fabricar elementos diferentes entre ellos en un rango de tiempos y costos parecido a los que se necesitarían para hacer objetos todos iguales; considerando que entre los motivos principales de la fabricación en serie de elementos repetidos está la reducción de tiempos y costos. Al eliminar esta limitante se redescubre la posibilidad de generar elementos todos diferentes entre ellos, por un lado parecidos conceptualmente a los objetos únicos fabricados a mano por los artesanos, y por otro lado, al ser materializaciones de objetos digitales, también replicables.

Estos cambios, otra vez, además de involucrar el hacer, retroalimentan también la manera de pensar las cosas. Ya que al saber que pueden materializarse elementos complejos y diferentes entre ellos, se piensa en las cosas con la consciencia de que se pueden fabricar, llevando el mundo de las formas a complejidades precedentemente descartadas.

Sistemas y morfologías obtenidos mediante el pensar paramétrico y con algoritmos geométricos, o procesos de generación de las formas emergentes de *form finding* digital, ya sean constituidos de elementos todos iguales o todos diferentes, hoy se pueden fabricar digitalmente con la misma facilidad; la mayoría de ellos no se podrían fabricar a mano.

Al construir conformaciones constituidas por elementos todos distintos entre ellos, se consolida aún más el concepto de sistema y de estructura, ya que las piezas que salen de las máquinas digitales a veces son enteras pero a veces se van armando entre ellas; en esta

segunda opción, para poderse construir de la manera correcta, necesitan un cierto orden; lo cual enmarca la importancia del concepto de organización.

- *The Personal Fabricator.*

Todos los fenómenos antes mencionados se vieron fortalecidos por el paso de la fabricación digital desde el ámbito de la industria a la escala personal. Así como pasó precedentemente con la computadora, gracias a la introducción del *Personal Computer (PC)*, la fabricación digital, al volverse *Personal Fabrication (PF)* convierte “el hacer” en uno de los mayores protagonistas de nuestra época. Y es que ya no sólo cambian las maneras de hacer cosas y las cosas que se hacen, sino más bien se modifica quién hace. Dando origen a un nuevo tipo de ser humano, capaz de hacer cosas, que desea hacer cosas y que hace cosas, o que piensa poder hacerlas. Que se etiqueta o identifica como “hacedor”, o mejor dicho como *maker*, que es cualquier persona que contiene en sí el potencial de hacer o poder hacer cualquier cosa.

Los *makers* no necesariamente son diseñadores o arquitectos. De hecho en realidad casi nunca lo son. Y el paso de la fabricación digital a la escala personal, e introducida en el campo de la arquitectura y del diseño, ha cambiado y está cambiando cada día más la figura del diseñador y del arquitecto. Y con ella la relación entre el diseño del objeto y su materialización, que se acercan cada vez más y de manera cada vez más directa, dependiendo el uno del otro.

- *Revolución y evolución: cuando las cosas empiecen a pensar.*⁷

Cuando las máquinas de fabricación digital llegan a la esfera personal, quien las usa no sólo aumenta enormemente su poder y potencial de hacer cosas, sino que también empieza a familiarizarse con dichas máquinas, entendiendo su funcionamiento y su estructura.

“Un PF es una máquina que hace máquinas; es cómo una impresora que puede imprimir cosas en lugar de imágenes”.(Gershenfeld, 2005. Pág. 3, trad. propia).⁸

Pronto se comprende que las máquinas pueden hacer otras máquinas, o por lo menos algunas partes de ellas. Así que quien las usa cada vez más está interesado en poderlas reparar, modificar, o fabricar; lo cual no abarca solamente la parte física sino también los códigos que las conectan con los archivos digitales. Tales relaciones son aún más evidentes cuando quien utiliza la máquina es quien diseña los archivos digitales, ya que conoce y comprende la relación entre el objeto digital y su materialización. Por lo tanto se genera un intercambio de retroalimentaciones entre la forma material e inmaterial de su artefacto; lo cual a veces consiste en adaptar el diseño a las posibilidades de la máquina, y a veces al revés, en adaptar la máquina a las necesidades formales del objeto digital.

Estos intercambios además de establecer una nueva relación entre el proyecto y su realización física, corroboran aún más la conscien-

⁷ El concepto de las “cosas que empiezan a pensar”, fue ideado por Neil Gershenfeld en los '90, explicado ampliamente en su libro “When Things Starts to Think”, evolucionó sucesivamente hacia el concepto de “The Internet of Things” y de “Fab Lab”.

⁸ **Texto original, en inglés en la fuente consultada:**

“A PF is a machine that makes machines; it's like a printer that can print things rather than images.”

cia del concepto de estructura, donde el diseño del objeto, su forma digital, la computadora, los códigos, la máquina con todos sus componentes y el material que se usa para materializar dicho objeto, son parte de un todo, compuesto de elementos de diferente naturaleza.

La máquina de fabricación digital es parte de un sistema que recibe datos desde algo que los produce, en este caso una computadora, y los devuelve de otra forma, en este caso como materializaciones. Si consideramos la estructura básica de este sistema, no es difícil comprender que está compuesto por unos datos que entran en un dispositivo, que los recibe y eventualmente los traduce para devolverlos en otra forma. Lo cual evidencia como dicho sistema no tiene que contener necesariamente una máquina que fabrica algo, sino más bien puede ser cualquier objeto; y efectivamente hoy en día ya existen muchos objetos de uso común, que vistos en su estructura básica, son sistemas que reciben datos y los devuelven de otra forma, a través de movimientos, luces, etc.

Las cosas, por lo tanto, son sistemas compuestos de elementos que no son solamente materiales sino también entidades intangibles, como por ejemplo los códigos que las comunican con lo demás, y que hacen que puedan recibir y enviar datos de varias formas.

Así que hay “cosas que hacen cosas”, como las máquinas que fabrican otros objetos, y hay “cosas que hacen algo”, que no necesariamente es físico, sino que puede ser otro tipo de acción, lo cual se acerca al concepto de comportamiento; por lo tanto el interés no está sólo en el diseño y la fabricación de un objeto material, sino también en programar lo que hace, con quién o qué se conecta, y cómo

reacciona, lo cual por un lado cambia las cosas en sí, y por otro cambia quién las hace.

"Tendré éxito si una computadora zapato llegará a ser vista como una gran idea y no solo como una broma (...) y ¿si las computadoras desaparecen y el mundo se convierte en nuestro interfaz?" (Gershenfeld, 1999. Prefacio. Pág. XI, trad. propia).⁹

Tal manera de concebir las cosas es parte de lo que Neil Gershenfeld en los años 90 llamaba la evolución digital:

"Vivimos en un mundo tridimensional, pero las pantallas y las impresoras restringen la información a superficies bidimensionales. Una computadora de escritorio requiere un escritorio, y una computadora portátil (*lap top*) requiere un regazo (*lap*), lo cual nos obliga a permanecer sentados. O salimos a caminar o usamos la computadora. Todos estos problemas se solucionan desmantelando la barrera real, la que existe entre la información digital y nuestro mundo físico".
(Gershenfeld, 1999. Pág. 5. trad. propia).¹⁰

Hoy en día esta evolución está en marcha: basta pensar en los smartphones, sólo por citar un ejemplo de un objeto de gran difusión. O los distintos dispositivos sensibles que ya se encuentran en

⁹ **Texto original, en inglés en la fuente consultada:**

"I will have succeeded if a shoe computer comes to be seen as a great idea and not just a joke (...) and if computers disappears and the world becomes our interface?"

¹⁰ **Texto original, en inglés en la fuente consultada:**

"We live in a three-dimensional world, but displays and printers restrict information to two dimensional surfaces. A desktop computer requires a desk, and a laptop computer requires a lap, forcing you to sit still. Either you can take a walk, or you can use a computer. These problems all be fixed by dismanteling the real barrier, the one between digital information and our physical world."

el mercado. O también los infinitos proyectos y artefactos desarrollados y fabricados a diario por los *makers* de todo el mundo. Gracias sobre todo a la gran difusión de plataformas que permiten conectar elementos entre ellos, como la de Arduino, que contiene tanto los dispositivos físicos como el lenguaje de programación. Cuando todavía solemos pensar en la computación con aquella metonimia donde por computadora entendemos no una entidad que computa, sino aquel específico objeto compuesto por una pantalla, un teclado, un periférico táctil, que solemos llamar *computer*, ordenador, computadora, *ordeneur*, *lap top*, etc.

"El Universo, tanto literalmente como metafóricamente, es una computadora. Usando el lenguaje discreto de la computación, más que ecuaciones de cálculo continuas para describir el comportamiento de los sistemas físicos, no conduce solamente al desarrollo práctico de nuevas y más poderosas tecnologías de la información, sino también a nuevos tipos de ideas sobre la naturaleza del universo en sí, como el comportamiento a largo plazo de los agujeros negros. Si el mundo es una computadora, entonces la ciencia de la computación es realmente la ciencia de la ciencia". (Gershenfeld, 2005. Pág. 4, trad. propia).¹¹

Al reconocer que en la naturaleza todo computa, y que por lo tanto todo artefacto podría computar, el concepto de *computer* centralizado, entendido de manera metonímica como antes se mencionaba,

¹¹ **Texto original, en inglés en la fuente consultada:**

"The universe is literally as well as metaphorically a computer. Atoms, molecules, bacteria, and billiard balls can all store and transform information. Using the discrete language of computation rather than the continuous equations of calculus to describe the behavior of physical systems is not only leading to the practical development of new and more powerful kinds of information technologies, such as quantum computers, it's also leading to new kinds of insights in the nature of the universe itself, such as long-term behavior of black holes. If the world is a computer, than the science of computing is really the science of the science."

podría desaparecer, para dejar espacio a computadoras distribuidas e independientes, que serían potencialmente todos los objetos.

Hoy, después de casi dos décadas, sí que las cosas empezaron a pensar, pero los *computers* “tradicionales” no han desaparecido: así como los libros no dejaron de existir con los *ebooks* y con la escritura digital. Los *computers* coexisten con otros objetos capaces de computar, que pueden funcionar completamente sin ellos o conectarse con los mismos, según la necesidad.

f) El lado “oral” y “alfabético” de los objetos.

Los sistemas paramétricos permiten hacer coexistir varias versiones de una misma realidad: desde una sola estructura, en el entorno digital, se pueden obtener familias de cosas con infinitas variaciones procedentes de las mismas reglas de conformación.

Sin embargo, la mayoría entre ellos, aunque se fabriquen de manera digital, a la hora de pasar a su estado material, pierden estas propiedades ya que la que se materializa es una de las infinitas posibilidades de conformación permitidas por el sistema digital; lo cual en algunos casos es válido, por la naturaleza del proyecto, mientras en otros se trata de una reducción dictada por la limitación de concebir el objeto material como entidad fija e impermeable a lo demás.

En estos casos fijos, la materialización del objeto respecto a su forma digital, se parece mucho al proceso de consolidación de las palabras o de los relatos al pasar del estado oral al estado escrito, donde lo digital -como lo oral- permite y admite la existencia de variaciones de una misma entidad, mientras el objeto material -como la forma escrita- selecciona sólo una entre las distintas posibilidades.

"El hombre de una sociedad alfabetizada y homogeneizada deja de ser sensible a la diversa y discontinua vida de las formas." (McLuhan, 1964/1996. Pág. 40).

Por otro lado, y visto bajo el punto de vista de esta comparación, al concebir el objeto como un sistema capaz de recibir datos y responder a los mismos a través de variaciones, adaptaciones y por lo tanto estableciendo una relación más o menos abierta con el entorno, también cuando se encuentra en su estado material, hace que emerja aquella multidimensionalidad, propia de nuestra época post-alfabética, que los objetos materiales en general no solían tener.

g) Hacia lo vivo: adaptarse y conectarse.

La capacidad de los sistemas de variar en base a las relaciones entre elementos internos y factores externos, ya sea tanto en su forma digital como en su forma material, nos lleva a los conceptos de adaptación de los seres vivos (Wagensberg, 1999), de autopoiesis (Maturana y Varela, 1973), de homeostasis (Gere, 2002), y de resiliencia, todo propio de los seres vivos y de los sistemas que los componen. Así, las cosas vistas de tal manera se parecen mucho más a seres vivos que a pedazos de materiales inertes.

El control y la programación de la relación de tales objetos con otros sistemas, junto con la universalidad del lenguaje digital, permiten varias formas y maneras, en algunos casos simbólicas y superficiales y en otros realmente muy profundas, de comunicación e interacción directa con los seres vivos (Estévez, 2005), que también entran a formar parte del sistema, generando otras formas de pensar y de hacer. Quizás las más avanzadas entre todas, que ya se aplican en

varios campos, como la bioingeniería y la medicina por citar sólo los ejemplos más relevantes, y que ya se están acercando cada vez más al mundo de la arquitectura y del diseño, hasta hacerse realidad.

1.6 El Pensar y el Hacer Avanzados en arquitectura y diseño: una primera definición.

El **Pensar Avanzado** se fundamenta en la consciencia de los conceptos de estructura y de sistema que surgen desde la capacidad de traducción universal de la tecnología digital, a través de la cual hoy en día concebimos “las cosas” que ya existen y elaboramos las que van a existir, ya sean entidades físicas, inmateriales o compuestas de ambas partes.

Tales cosas, pensadas en cuanto sistemas, sencillos o complejos, simples o compuestos, se constituyen por elementos que se definen a través de reglas de conformación, reglas de relación internas y reglas de relación con el exterior, que en conjunto determinan su identidad.

Las reglas de conformación y de relación pueden ser definidas *a priori*, o proceder de exploraciones de fenómenos emergentes y de auto-organización, a través de procesos de generación en modalidad *bottom-up*, *top-down* o un conjunto de ambos, a través de lenguajes formales figurativos o no, algoritmos, sistemas de sustitución, desarrollados en el entorno digital, de manera manual y analógica, o en ambas modalidades.

Estos sistemas se conciben gracias al pensar paramétrico, donde desde una misma estructura pueden surgir varios elementos, cuyas variaciones pueden depender de las relaciones entre los elementos internos al sistema, o de relaciones con el exterior; la mayor o menor permeabilidad del sistema hacia el exterior es parte del mismo, sin embargo éste puede estar sujeto a factores o fenómenos inesperados e impredecibles, que pueden afectarlo o no tanto, provocando variaciones o mutaciones no controladas.

Por la claridad de sus reglas de organización interna y de relación con lo demás, las cosas así pensadas, en su estructura se parecen más conceptualmente a seres vivos que a pedazos de materia inerte, según se comentaba antes, que se desarrollan en un entorno desde el cual se diferencian, con el cual se comunican y donde adquieren ciertos comportamientos.

Por lo tanto, el Pensar Avanzado consiste en la consciencia del concepto de sistema, que aplicado en arquitectura y diseño se convierte en el proyecto como sistema. Donde lo existente y lo nuevo se conciben y se elaboran con procesos de generación de las formas posibles gracias a la aplicación del diseño digital, paramétrico-asociativo, mediante la modelación digital o el desarrollo de algoritmos geométricos, que en conjunto llevan a la ideación y conformación de entidades bien definidas, en su estructura interna o en relación con lo demás, que solucionan o se aproximan a problemáticas espaciales.

El **Hacer Avanzado**, así como el Pensar Avanzado, surge de la universalidad de lo digital que permite la traducción de materia en datos y viceversa, además de ponerlos en comunicación entre ellos; lo cual redefine completamente la relación entre elementos tangibles e

intangibles en general, y que al pasar al mundo del diseño y de la arquitectura revoluciona la relación entre la ideación del objeto, su diseño y su materialización física, abarcando no sólo a las cosas en sí sino también a quien las hace, o sea al arquitecto y al diseñador.

Por lo tanto el Hacer Avanzado en arquitectura y diseño consiste en el entendimiento y el desarrollo de la relación entre el proyecto como sistema y su materialización; tal relación se manifiesta bajo diferentes aspectos, que se presentarán enseguida.

La primera manifestación del Hacer Avanzado se presenta como un hacer que no necesita de la materia para existir: el diseño digital, ya sea proveniente de procesos de generación a través de algoritmos, o ya sea obtenido a través de la modelación, por la naturaleza del ciberespacio y por las características de los elementos tratados. Ya no genera representaciones de los objetos ideados, sino unas formas de dichos objetos que son ellos mismos, que existen sin ser tangibles. Modelar o generar entidades en el entorno digital ya no es solamente una manera de diseñar sino también una manera avanzada de hacer, estableciendo la primera relación entre materia y no materia.

La segunda manifestación del Hacer Avanzado surge desde la fabricación digital y las herramientas que la hacen posible, donde al conectar directamente una máquina con el objeto digital que lo traduce en informaciones para su materialización, se establece una conexión directa entre el objeto diseñado y su forma física, sin intérpretes o intermediarios. Lo cual entre otras cosas, permite la materialización de conformaciones que a mano sería imposible fabricar, pero tam-

bién revoluciona completamente el concepto de representación, que en algunos casos se vuelve obsoleta o innecesaria.

El tercer punto nace desde la difusión masiva de las herramientas de fabricación digital, de los dispositivos electrónicos de entrada y salida con sus plataformas, y su llegada a la escala personal, que elimina la distancia entre quien diseña y quien hace, que a menudo son la misma persona. Tal acercamiento determina una fusión entre el diseño y su materialización, ya que si quien diseña es también quien hace, o quien sabe hacer, se establece una retroalimentación continua entre el pensar en como será el objeto en sí y el pensar en como se hará. Las cosas se piensan en relación a cómo se hacen y viceversa, por lo cual surge un nuevo sistema formado por el diseño del objeto y su materialidad, entendidas como parte de un todo y no como dos entidades separadas.

Tal visión holística se extiende cada vez más no sólo a las maneras de hacer sino también a las herramientas: la familiarización con las máquinas de fabricación digital y con los dispositivos electrónicos de entrada y salida y sus plataformas que conectan datos y materia, hace que quien diseña y quien hace las cosas, sea capaz también de hacer las máquinas que hacen las cosas; y si puede hacer las máquinas que hacen las cosas, es capaz también de hacer cosas que hacen cosas. O sea, es capaz de concebir objetos que no se componen sólo de pedazos de material, sino de una unión entre elemento tangibles y datos, que se conectan entre ellos o con el entorno. De donde surge el cuarto punto del Hacer Avanzado, que consiste en la capacidad de hacer cosas compuestas de elementos inmatrimales y materiales, que no sólo se diseñan y se fabrican, sino

que se programan para recibir y devolver datos, que son capaces de conectarse, adaptarse, comportarse y -en cierta manera- actuar.

El último punto, en parte relacionado con el precedente, consiste en el hacer cosas sin hacerlas de manera directa, o por lo menos en algunas de sus partes: al comprender la estructura, el comportamiento y el funcionamiento de entidades existentes, sean artefactos humanos o seres vivos, y al establecer nuevas conexiones o nuevas configuraciones entre ellos o partes de los mismos, se pueden programar procesos de generación. Estos, una vez en marcha, tienen su propio desarrollo, sin la necesidad de un ser humano que los fabrique en todas sus partes, haciendo por lo tanto que las cosas se hagan por sí solas. Entre estas maneras de hacer, la más relevante es la manipulación genética. Pero existen también formas de colaboración entre seres vivos y entidades artificiales, como la programación del desarrollo de sistemas auto-organizados y de formas de crecimiento, la hibridación entre sistemas formales que se alimentan de datos en tiempo real, que cambian continuamente, provocando nuevas conformaciones, sólo por citar algunos.

Desde las consideraciones precedentes, además de las definiciones del Pensar y del Hacer Avanzado en Arquitectura y Diseño, emerge que los dos conceptos están fuertemente conectados, dependiendo el uno del otro a través de una relación de retroalimentación a veces imprescindible; lo cual muestra que son partes integrantes del mismo fenómeno, basado en la relación entre los datos inmateriales y la materia como parte de un mismo sistema, que incluye los procesos de diseño y generación de las formas, su materialización, sus características intrínsecas, y su relación con lo demás como parte de un todo.

CAPÍTULO 2

DESARROLLO Y RESULTADOS: Investigaciones Aplicadas

Tal como se está planteando, el hilo conductor de esta tesis es el fenómeno del Pensar y del Hacer Avanzados en Arquitectura y Diseño, que en su objetivo principal se propone establecer una aproximación a tal fenómeno, a fin de generar conciencia hacia al mismo, fomentar su aplicación y contribuir a su desarrollo. Dicha aproximación se realizó a través de **tres investigaciones aplicadas**, que se presentan en este capítulo, dos de las cuales son vinculadas a la docencia y dos fueron desarrolladas de manera individual. Todas son argumento de los **cinco apartados que componen el cuerpo principal de esta tesis**.

Los **primeros tres apartados** se relacionan con la **primera investigación**, llamada “Bichos”, que trata sobre los procesos de generación de la forma a través del concepto del proyecto como sistema, gracias al diseño paramétrico-asociativo y generativo, y sobre la relación entre el diseño del objeto y su materialización. El trabajo consiste en el desarrollo de una metodología para la generación y la fabricación material de dichos sistemas y en su aplicación experimental al Estudio de Elementos de la Arquitectura de la Universidad de Monterrey, que desde el año 2013 hasta la fecha, semestre tras semestre, se concluye con el diseño y la fabricación de pabellones a escala real, denominados “Bichos”. El **primer apartado** enfocado a la experiencia vinculada a la docencia, evidencia la importancia de la introducción del Pensar y el Hacer Avanzados desde las primeras etapas de la formación del diseñador. **El segundo** se orienta más

bien hacia los contenidos de la línea de investigación, los objetos en sí y sus procesos de generación. Mientras que **el tercero** trata específicamente del pabellón denominado “Bicho VII”, que consiste en una evolución de la investigación hacia la relación entre el objeto arquitectónico y el contexto, entendida como parte del sistema.

En **el cuarto apartado** se presenta la **segunda investigación**, relacionada con la primera, también vinculada a la docencia. Esta estudia el objeto como sistema, evidenciando la relación entre las modalidades de los procesos de generación de la forma, las reglas de conformación interna y la relación con el exterior, con una serie de morfologías estudiadas, tanto en su forma digital como en su forma material. Todo ello realizado en vinculación con los cursos de Morfología, Geometrías Generativas y el Estudio de Elementos de la Arquitectura de la Universidad de Monterrey, y que se exploran con un enfoque hacia el concepto de resiliencia.

En **el quinto apartado** se presenta la **tercera investigación**, denominada “Transynaesthesia”, desarrollada esta vez de manera individual, que propone y experimenta el uso de la sinestesia humana para el diseño de artefactos y su materialización, tratando el Pensar y el Hacer Avanzados en Arquitectura y Diseño bajo el punto de vista de la relación entre datos intangibles y materia, el desarrollo, la programación y el uso de dispositivos electrónicos de entrada y salida, y la comunicación entre entidades de diferente naturaleza: sensaciones y percepciones convertidas en datos y artefactos materiales, además de explorar las posibilidades de conexión entre la esfera individual y lo compartido como herramientas de diseño. Tal apartado se complementa con el Anexo I, donde se presentan los códigos desarrollados para la investigación.

APARTADO 2.1¹²

Entre el pensar y el hacer avanzados

Introducción del apartado 2.1

En este apartado 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

¹² **Este apartado se ha recogido publicado en** Froggeri, D.; Estévez, A. T. (2016). "Entre el pensar y el hacer avanzados". *Blucher Design Proceedings*, v. 3, n. 1. São Paulo: Blucher, pp. 219-226. ISSN 2318-6968. DOI 10.5151/desprosigradi2016-654.

Presentado en el foro de alto impacto "SIGraDi, XX Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital", Buenos Aires, Argentina, Noviembre 2016. Indexado en CumInCAD.

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 del apartado 2.1

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.2.1.1).



Figura 2.1.1: 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 *Python*. 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 *Python*), 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 del apartado 2.1

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, contraria-

mente 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. 2.1.2).

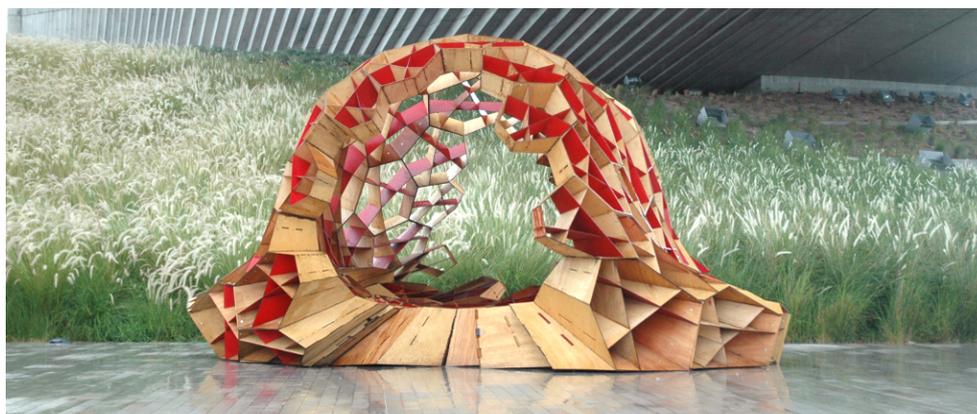


Figura 2.1.2: Daniela Frogheri, *Bicho 3*: obra terminada.

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. 2.1.3).



Figura 2.1.3: 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. 2.1.4).

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.

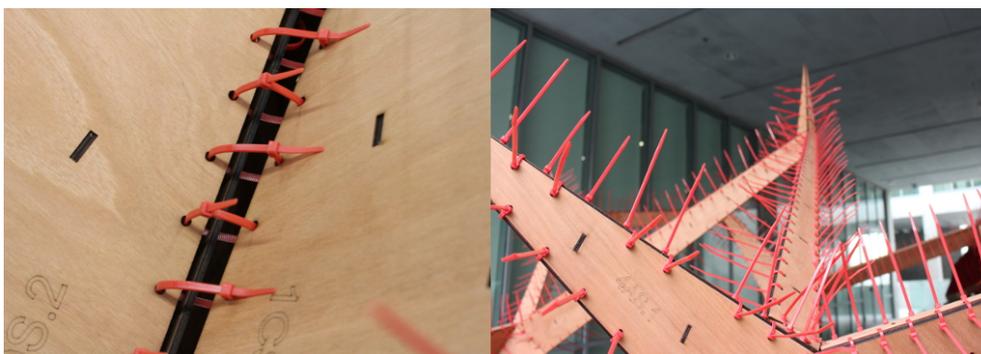


Figura 2.1.4: Daniela Frogheri, *Bicho 5*: las uniones se convierten en elementos de diseño.

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 po-

der 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 iso-curvas genera el patrón de corte, adaptándolo a cada caso. (Fig.2.1.5).

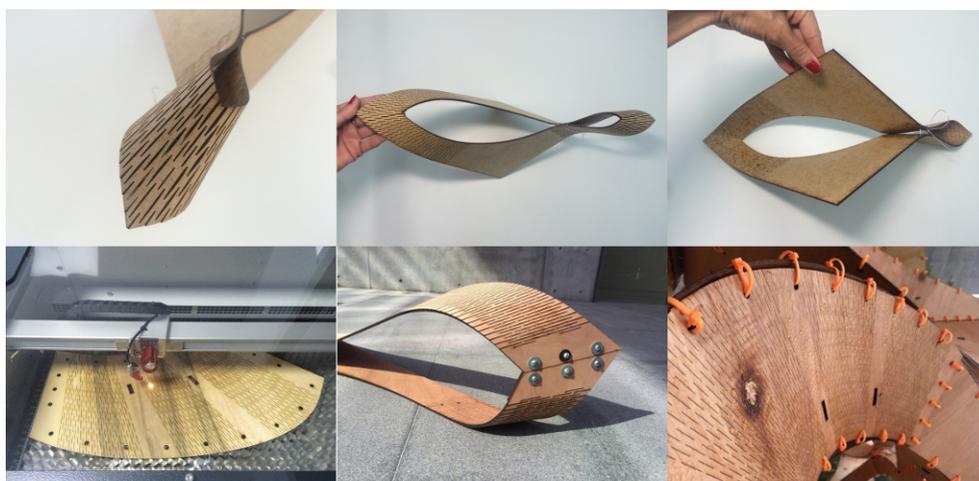


Figura 2.1.5: Daniela Frogheri, *Bicho 6*: estudios para el curvado de las piezas de madera.

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 utiliza-

ron 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 alguna 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 Monterrey, donde se utiliza a diario (Fig. 2.1.6).



Figura 2.1.6: Daniela Frogheri, *Bicho 6*: obra terminada.

Conclusiones del apartado 2.1

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 lugar, 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 (UDEM) 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.

APARTADO 2.2¹³

Bichos: Una familia de pabellones en evolución

Introducción del apartado 2.2

En este escrito se presentan algunos de los proyectos desarrollados dentro de la línea de investigación *Bichos* que desde el año 2013 hasta la fecha se lleva a cabo en la UDEM (Universidad de Monterrey, México), gracias a la colaboración entre el FabLabMTY, el curso de Elementos de la Arquitectura, y con la participación del Genetic Architectures Research Group, de la ESARQ (School of Architecture de la UIC Barcelona, Universitat Internacional de Catalunya).

La investigación trata sobre los procesos de generación de la forma y su materialización aplicados al diseño y a la fabricación de objetos arquitectónicos reales y consiste en una familia de pabellones, llamados *Bichos*, diseñados y construidos semestre tras semestre durante el estudio de Elementos de la Arquitectura, del primer año de la carrera de Arquitectura.

¹³ **Este apartado se ha recogido publicado en** Frogheri, D.; Estévez, A. T. (2017). "Bichos: Una familia de pabellones en evolución". En A. T. Estévez (ed.), *3rd International Conference of Biodigital Architecture & Genetics*. Barcelona: ESARQ (UIC Barcelona), pp. 224-239. ISBN digital 978-84-685-0350-9. ISBN imprenta 978-84-685-0368-4. Dep leg. B 17842-2017.

Presentado en la "3rd International Conference of Biodigital Architecture & Genetics", ESARQ (UIC Barcelona), Barcelona, España, Junio 2017.

Presentado en la "3rd edition of the Symposium on Integrated Computational Tools for Advanced Manufacturing (ICT4AM)", dentro del "15th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics - ICNAAM 2017", Thessaloniki, Grecia, Septiembre 2017. Publicado en una versión reducida en inglés en la publicación indexada *AIP Proceedings*, indexado en SCOPUS.

Entre el pensar y el hacer avanzados

La investigación surge en general desde una mirada al presente, donde nos enfrentamos a una realidad extremadamente compleja, no sólo por su naturaleza en rápida evolución, sino más bien por como hoy en día nos podemos relacionar con ella gracias a los avances de la tecnología; así que el reto del diseñador es conocer y dominar dicha complejidad, a la hora de percibir e interpretar lo existente y como ideador de nuevas propuestas y elaboraciones.

Tal relación con la complejidad hace que en el mundo del diseño se consoliden cada vez más los conceptos del “pensar y el hacer avanzados” (Frogheri, Estévez, 2016a), a nivel teórico y práctico, en ámbitos profesionales, con investigaciones y en la enseñanza.

Con el “pensar avanzado” se entiende la experimentación de procesos de diseño fundamentados en el concepto del 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 el diseño digital.

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

Dentro de este panorama, sobresalen algunos conceptos que, si hasta hace unas décadas se consideraban innovadores, hoy en día ya son parte de la cultura general de cualquier mente creativa. Como

el estudio y el desarrollo de sistemas emergentes, el *form finding*, el trabajar en *top down* y *bottom up*, la generación a través de lenguajes formales y sistemas de sustitución, etc., que se introducen cada vez más en los estudios de arquitectura y de diseño en general. Ya sea a nivel de pregrado como de posgrado, a través de investigaciones, ejercicios, actividades, incluyendo fundamentos teóricos y/o estudios aplicados.

En todos estos trabajos, a pequeña o gran escala, obtenidos “desde arriba hacia abajo” o viceversa, a través de la formulación de reglas bien definidas o de la experimentación emergente, se desarrollan sistemas que pueden existir en el entorno digital o como materializaciones, y que pueden quedarse a un nivel abstracto o convertirse en proyectos reales, con diferentes rangos de complejidad.

En el caso del proyecto *Bichos*, se desarrollan sistemas que se convierten en objetos arquitectónicos reales; lo cual, por un lado corrobora el concepto de “proyecto como sistema”, y por lo tanto del “objeto arquitectónico como sistema”, cuyos elementos se relacionan entre ellos y con el entorno a través de reglas que los definen en cuanto tales y que determinan su relación con lo demás; y por otro lado, pone sobre la mesa la cuestión de la relación entre el objeto diseñado y su materialización física, donde las problemáticas que surgen desde dicha relación no se limitan a la representación de una idea o a su ejecución, sino más bien retroalimentan al sistema participando en la definición formal y material de su naturaleza.

Uno de los puntos más importantes del trabajo es que los productos finales de cada sesión semestral son obras arquitectónicas reales, que por lo tanto responden a una función, se ubican en un lugar y

son utilizadas 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.

Las ventajas 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 llamada “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 Alemán 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 una rápida ideación y fabricación de la obra completa, 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 alumnos de un estudio de arquitectura, fomentando la innovación y permitiendo la experimentación directa de la materialización.

El trabajo se puede leer a dos escalas, la del pabellón que se realiza a lo largo de cada semestre, concebido como entidad singular con sus características propias, y la de los pabellones como una familia de sistemas que aprenden cada uno de su predecesor, consolidándose como una línea de investigación en continua evolución.

Por la riqueza del material generado a lo largo de cuatro años y con ocho pabellones realizados, el proyecto se puede leer a través de varios enfoques, siendo sus dos ejes principales el de la experiencia educativa y el del proyecto en sí.

El trabajo fue presentado en un artículo previo (Frogheri, Estévez, 2016). Y sucesivamente se han realizado dos pabellones más, el *Bicho 7* y el *Bicho 8*, que determinan un gran avance dentro de la línea de investigación, por lo tanto este escrito se puede leer como una ampliación del precedente.

Procesos metodológicos del apartado 2.2

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 de manera digital.

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. Y dada su naturaleza periódica, dicha metodología, aun manteniendo su estructura de base, ha ido evolucionando, fortaleciendo y depurando

partes, según las experiencias y los resultados de cada sesión semestral.

Fase 01. Estudios preliminares: exploraciones en Bottom Up

Los estudios preliminares tienen el doble objetivo de introducir los conceptos del proyecto como sistema, en cuanto a lógicas internas de conformación y en cuanto a propiedades intrínsecas de la materia. Esta etapa se desarrolla de manera individual, a través de una exploración formal, material, analógica y manual con ejercicios de *form finding*, aplicando los principios del *bottom up*. Se definen sistemas de componentes físicos, formulando reglas internas de conformación, y estudiando sus posibilidades de variación dictadas por las características propias de su morfología y de la materia. Sucesivamente, se exploran posibilidades de agregación y proliferación, encontrando lógicas internas de organización del sistema realizando las primeras conformaciones. Al final de esta parte se analizan los trabajos en conjunto seleccionando los de mayor interés como bases para definir el proyecto.

Fase 02. Definición del proyecto: Top Down e intención

Los objetivos principales de esta fase son comprender la relación entre los factores internos y externos de un sistema, su rol en los procesos de generación de la forma y su traducción en la morfología de un proyecto. Basándose en las conformaciones seleccionadas, los alumnos trabajan en equipos desarrollando ideas de proyecto, trabajando siempre de manera analógica y a mano, aunque en algunos casos empiezan a modelar partes en el entorno digital. Es aquí donde se pasa a la modalidad *top down* a través de la intención aplicada a 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. Los componentes y las conformaciones iniciales se redefinen según el *feedback* de dichos factores para desarrollar el sistema constructivo. Es aquí donde se consolida el concepto de sistema como conjunto de elementos conectados entre ellos, a través de reglas de conformación y de agregación, para lograr propiedades estructurales, cierres, aberturas, porosidad, resistencia, y todo lo que se considere oportuno 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 un solo trabajo en base al cual se desarrollará el proyecto final.

Fase 03. Desarrollo del proyecto

Esta etapa tiene como objetivos el desarrollo de la versión final del proyecto y la comprensión de las posibilidades de la computación. Aquí los estudiantes trabajan todos en el mismo proyecto, experimentando retroalimentaciones continuas entre lo digital y su materialización. Se desarrolla el sistema digital con herramientas paramétrico-asociativas y generativas como son *Rhinoceros*, *Grasshopper* y con el uso de lenguajes de programación como *Python*. 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 que, además de ser una herramienta valiosa para la consolidación de las lógicas de la forma, 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 que proporcionan informaciones para

la versión final del proyecto. Una cuestión fundamental de esta etapa es la retroalimentación de la herramienta respecto a la naturaleza de la conformación y al sistema constructivo. Entendiéndose 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

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 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 fases. 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 paso 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.

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, a 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 del apartado 2.2

Una familia de pabellones

Los resultados de la presente investigación se pueden leer directamente bajo el punto de vista de las ocho obras arquitectónicas construidas hasta la fecha, o más bien a través de una mirada más amplia, que considera el trabajo como una sucesión de elementos en evolución.

Tal como se les denominó, el *Bicho 1* y el *Bicho 2* fueron las premisas para la implementación de conceptos y tecnologías avanzadas. A partir del *Bicho 3*, se consolidó una metodología de trabajo con la cual el estudio se convirtió en una línea de investigación. Con el *Bicho 7* se abrió una nueva rama, que concierne la relación con el contexto, a través de la introducción de elementos sensibles, mientras que con el *Bicho 8* la experimentación se fue hacia el estudio de diferentes materiales y técnicas de fabricación.

Primeros pasos: Bicho 1 y Bicho 2

Con el *Bicho 1* los alumnos se experimentaron la posibilidad de idear morfologías complejas y su materialización a través de la fabricación digital. 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 fabricación se estudió una estrategia muy sencilla, generando el objeto en el entorno digital y luego el sistema de organización de las piezas, usando planos seriados en las dos direcciones perpendiculares, con encajes para el armado.

El resultado fue un pabellón de madera 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 estar 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 avanzado”.

Con el *Bicho 2* se introdujeron los conceptos del proyecto como sistema y del pensar paramétrico. Concibiendo la morfología final no como una entidad única y singular sino como una de las innumerables posibilidades de configuración del sistema. El resultado fue un espacio para sentarse, inspirado 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. Por lo tanto, contrariamente a la experiencia precedente, el *Bicho 2* se enfocó en “el pensar avanzado” más que en “el hacer”.

Comparando las dos experiencias, fue evidente 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, 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.



Figura 2.2.1. Daniela Frogheri, *Bicho 1* y *Bicho 3*.

Consolidación: Bichos 3, 4, 5 y 6

A partir del *Bicho 3* el proyecto adquirió finalmente el carácter de investigación propiamente dicha. Así, definida una metodología de base, presentada en este escrito en la sección de Procesos Metodológicos (aunque con variaciones debidas a la retroalimentación de los resultados), se ha repetido esta para los *Bichos 3, 4, 5, 6, 7 y 8*. Los seis pabellones 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, *milling CNC*, e impresiones 3D.

Las estructuras, todas autoportantes, desde el *Bicho 3* al *Bicho 6*, 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 numeraron, y las prepararon para su disposición en las láminas de corte. La fabricación fue ejecutada completamente por parte de los estudiantes con el equipo del FabLabMTY, lo cual permitió entender 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 panel, 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, porque, además de generar conexiones inestables, con el tiempo se oxidaron, debilitando la estructura y permitiendo la fractura de algunas piezas. A pesar del inconveniente el pabellón se mantuvo intacto por casi cuatro años.

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 pieza. Los componentes, unidos entre ellos a través de encajes, cinchos y tornillos de acero galvanizado, forman en conjunto un cascarón estable y resistente. Así como para el pabellón precedente, el punto crítico del trabajo fue que algunas de las uniones realizadas con clavos se desplazaron por el escaso grosor, fracturando algunas piezas de la base. El pabellón permaneció por varios meses en el jardín de la Universidad, resistiendo de manera excelente 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.

El *Bicho 5* se desarrolló de manera arbórea como *L-System* y se realizó un sistema constructivo compuesto por una piel estructural externa, 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. 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 cos-

tos, y del tiempo de armado, garantizando además una eficiencia de la estructura y una gran calidad de los acabados. El pabellón, ligero y desarmable, se encuentra todavía en perfectas condiciones; se ha reubicado en varios espacios en el campus universitario, tanto interiores como exteriores, donde se utiliza a diario.

El *Bicho 6*, se desarrolló a través de una gran cantidad de estudios y materializaciones, tanto analógicas como digitales, 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, a través de cortes en las superficies de las piezas y utilizando planchas muy delgadas, aprovechando la flexibilidad del mismo material. 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 siguiendo la veta del material y a través de cortes realizados según la curvatura de las piezas, mediante un sistema que leyendo las *isocurvas* genera el patrón de corte, adaptándolo a cada una. El sistema constructivo inspirado en el

Bicho5 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. Pues, tanto 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, su punto débil fue la fragilidad de las piezas, que hizo que se deteriorara después de un año.



Figura 2.2.2. Daniela Frogheri, *Bicho 4* y *Bicho 6*.

Evoluciones: Bichos 7 y Bicho 8

Desde las últimas dos experimentaciones, inició a manifestarse una inquietud que se volvió argumento de estudio para las etapas sucesivas de la investigación, que consiste en la cuestión de la relación con el contexto, ya que hasta el *Bicho 6*, dicha relación se puede considerar más bien pasiva o “defensiva”. Ya que si bien es verdad

que todos los *Bichos* son capaces de sostenerse, protegerse del sol, de la lluvia, del viento y generar espacios habitables para los usuarios, dichos factores no intervinieron de manera profunda en las conformaciones morfológicas de los componentes en cuanto tales, lo cual quedó como punto débil.

Siendo este un proyecto donde cada pabellón aprende de los éxitos y fracasos de los precedentes, dicha debilidad evidenció 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 necesitaba un avance hacia la interacción y la comunicación de los *Bichos* con su entorno y que dicha relación participara de manera directa en los procesos de generación de la forma y del sistema en general.

Bicho 7: entorno y sensibilidad

El primer paso se dio con el *Bicho 7*, donde se decidió estudiar la relación con el contexto a través de un pabellón sensible que recibe datos de sensores en vivo, responde y se adapta en tiempo real, estableciendo una retroalimentación continua entre el objeto arquitectónico y “lo demás”. El proceso metodológico general fue similar a los cuatro precedentes, pero con la integración de componentes y dispositivos electrónicos y piezas impresas en 3D, por lo cual en es-

te caso, la colaboración con el FabLabMTY fue esencial para el proyecto.

El *Bicho7* recibe datos y reacciona con cambios de color y movimiento, integrando procesos de diseño paramétrico generativo, dispositivos de entrada y salida, programación y fabricación digital. La comunicación con el contexto, basada en interacciones entre seres vivos y comportamientos, se concreta en la mimesis y la proxemia, generando un diálogo entre el pabellón y los seres que se acercan o lo habitan. A través de sensores de color y de proximidad se reciben datos que, con *Arduino*, se envían al cuerpo del pabellón que incluye piezas móviles y leds RGB.

Se desarrollaron varios códigos para explorar manifestaciones de empatía, acuerdo o desacuerdo, miedo, confianza entre el pabellón y las personas, y con la posibilidad de programar otros tipos de comportamiento. El entorno ya no es sólo un lugar donde ubicar el pabellón, y el ser humano no es sólo un usuario. Todos reciben y envían informaciones, suscitando cambios de estado y adaptándose recíprocamente.

Además de la parte sensible, el *Bicho 7* determinó un gran avance también en cuanto a relación con el contexto entendida como ubicación en el espacio: mientras los pabellones precedentes en general no se estudiaron específicamente para un lugar fijo sino más bien se colocaron en un lugar asignado, en este caso la selección del sitio fue parte del proyecto, con la intención de utilizar un espacio que -a pesar de su potencial- quedaba desperdiciado por estar vacío.

El lugar, por un lado oscuro y protegido y por otro en una posición estratégica por su cercanía con los talleres de moda y el ágora poniente del CRGS, es ideal para descasar o estudiar. Por otro lado, la escasa iluminación natural, favorece la visualización de las luces miméticas del *Bicho 7*.



Figura 2.2.3. Daniela Frogheri, *Bicho 7*.

Bicho8: formas, materiales y más allá de la fabricación digital

Al igual que el *Bicho7*, el *Bicho8* se desarrolló desde el inicio pensando en el lugar donde iba a colocarse. En este caso, se trata de un jardín exterior del Campus, expuesto por lo tanto a la intemperie y sobre todo al viento. Por lo tanto, a la luz de los resultados precedentes, se empezó a pensar en la durabilidad del pabellón, con lo cual se decidió contemplar el uso de materiales más pesados y resistentes.

Después de varios ejercicios de *form finding* con pieles y superficies, se decidió experimentar con hormigón, que es el material con el cual se realizó el proyecto final. La selección de dicho material desató un proceso extremadamente rico, en cuanto a experimentaciones, aprendizaje y resultados.

Y si bien el proceso metodológico en su estructura sigue las etapas de los pabellones precedentes, cada una de las fases se vio enriquecida con respecto a las experiencias pasadas.

El estudio de sistemas de componentes y sus agregaciones se hizo con varios tipos de materiales y realizando una gran cantidad de piezas. En un inicio de manera analógica, donde los estudiantes realmente aprendieron a entender las propiedades intrínsecas de la materia. Y por primera vez se utilizó la impresión 3D, no sólo para imprimir la maqueta completa sino como herramienta para poder estudiar de manera más detallada los componentes y su comportamiento.

Por otro lado se experimentaron varias técnicas de fabricación, usando moldes de porexpán y de tela, llegando finalmente a una opción que incluye los dos: los primeros fabricados con una *milling CNC* para garantizar la forma de las piezas, y los segundos para dar una buena textura, y al mismo tiempo para garantizar la durabilidad del molde.

El sistema es un L-System que se desarrolla de manera arbórea llegando a su tercera generación, con la posibilidad de seguir creciendo también como una red de neuronas. Así, los elementos desarrollados dan origen a piezas planas fabricadas con moldes de tela, y en su geometría sólida se fabrican con moldes inversos.

El sistema constructivo, pensado en un inicio para poderse desarmar, se compone de tres tipos de piezas. Cada una tiene tres tubos de acero galvanizado, unidos a través de una junta impresa en 3D, y el cuerpo es de hormigón de secado rápido. A este se añadió fibra

de plástico, para una mayor resistencia y evitar las fracturas, y polvo de *porexpan* para aligerarlas (este último reciclado desde los residuos producidos por la *milling CNC* a la hora de hacer los moldes).

Al fabricar todas las piezas y los moldes en el FabLabMTY y con las máquinas del FabLabMTY Móvil, los estudiantes estuvieron más que nunca involucrados en las partes prácticas de la fabricación digital de manera directa, lo cual permitió hacer un gran avance en el campo del aprendizaje, además de establecer una integración completa entre el FabLabMTY y el grupo de Elementos de la Arquitectura.

El proceso de fabricación incluye una gran variedad de herramientas, tecnologías, materiales: corte láser, *milling CNC*, impresiones 3D, costuras a mano y a máquina, doblado de tubos de metal, además de varios ajustes realizados a mano, lo cual permitió a los alumnos y a todo el equipo vivir una experiencia extremadamente compleja y enriquecedora, donde se logró por primera vez en la historia de los *Bichos* entender la importancia de la integración de varios procesos y el uso de varias herramientas, considerando cada problema como una gran oportunidad para reinventar y aprender en tiempo real.

El pabellón, llamado *Neurama*, por su doble naturaleza de conexiones y crecimiento arbóreo, se colocó debajo de un árbol, para poder aprovechar su sombra natural, y se encuentra en los jardines de la “Prepa UDEM unidad San Pedro”, donde, además de su función básica, representa la conexión entre la Universidad y las etapas de formación precedentes.



Figura 2.2.4. Daniela Frogheri, *Bicho 8*.

Conclusiones del apartado 2.2

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 existen-

te, 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 lugar, 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, aún 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 o los espacios interiores de la Universidad, 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.

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 hasta ahora son muy positivos.

Sin embargo, por ser un trabajo en continua evolución, donde a cada nuevo paso además de los resultados corresponden nuevas inquietudes, las últimas dos versiones evidencian la necesidad de fortalecer aún más la comunicación con el contexto por un lado, y la necesidad de avanzar con la exploración de nuevos materiales por otro.

Ambas cosas relacionadas entre ellas piden la introducción de elementos vivos en el sistema, lo cual se convierte en el nuevo reto para el *Bicho 9*.

APARTADO 2.3¹⁴

Arquitectura Sensible en Relación con el Contexto: Mimesis y Proxémica como formas de Comunicación

Introducción del apartado 2.3

En este apartado se presenta una investigación sobre la relación entre arquitectura y contexto aplicada al desarrollo de un pabellón sensible que recibe datos de sensores en vivo, responde y se adapta en tiempo real, generando una forma de resiliencia biunívoca constituida por la retroalimentación continua entre el objeto arquitectónico y “lo demás”, este último entendido como cualquier tipo de factor externo.

El trabajo aquí presente es la evolución de una investigación previa llamada *Bichos* que desde el año 2013 hasta la fecha se lleva a cabo en la Universidad de Monterrey (UDEM, México) que introduce el diseño computacional y la fabricación digital desde las primeras etapas de formación del diseñador, aplicados a la realización de pabellones a escala real, en colaboración entre un estudio de primer año de la carrera de Arquitectura y el FabLab Monterrey.

¹⁴ **Este apartado se ha recogido publicado en** Frogheri, D.; Meneses-Carlos, F.; Estévez, A. T. (2017). "Arquitectura sensible en relación con el contexto: Mimesis y proxémica como formas de comunicación". En AA.VV., *Blucher Design Proceedings*, v. 3, n. 12. São Paulo: Blucher, pp. 125-132.

ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/sigradi2017-020

Presentado en el foro de alto impacto “SiGraDI, XXI Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital”, Concepción, Chile, Noviembre 2017. Indexado en CumInCAD.

El proyecto *Bichos* se basa en general en los principios del *pensar y del hacer avanzados* (Frogheri, Estévez, 2016a), donde por *pensar avanzado* se entiende la experimentación de procesos de diseño fundamentados en el concepto del proyecto como sistema, a través del pensar paramétrico-generativo-asociativo y el desarrollo de algoritmos geométricos para la comprensión y el dominio de los criterios de organización y generación de las formas, incluyendo tanto etapas analógicas como el diseño digital; mientras el *hacer avanzado* consiste en la comprensión de la relación entre el diseño del objeto arquitectónico y su materialización física, explorando las propiedades intrínsecas de la materia con procesos de estudio analógicos y digitales, experimentando de manera directa las posibilidades y el potencial de la fabricación digital.

Esta nueva etapa de la investigación surge en parte desde la necesidad de integrar el concepto de relación con el contexto en los procesos de generación de la forma de los pabellones, precedentemente estudiados como sistemas, pero a través de reglas de organización prevalentemente intrínsecas, donde el exterior se consideraba más como un escenario donde ubicar el objeto arquitectónico o un conjunto de factores externos de los cuales protegerse, que como parte integrante del proyecto.

En este caso, la relación entre el objeto arquitectónico y el contexto, se concibe como elemento de la arquitectura en continua retroalimentación con su morfología; por lo tanto, su diseño y su programación son parte del sistema, que más que algo ya listo que se añade desde el exterior, se conforman y se fabrican junto con la estructura, sea en fase de proyecto que de materialización.

Otro motor de la investigación, más general, surge desde una mirada al presente, donde una de las características que definen nuestra época es la elevada capacidad de conectar entidades similares o de naturaleza diferente, sean estas personas, otros seres vivos, cosas, datos inmateriales o elementos tangibles. Dichas posibilidades de comunicación, debidas a los avances de la tecnología y su difusión masiva, han revolucionado el concepto de objeto, desde el momento en que se concibe hasta su materialización física, considerado sea como elemento en sí que en relación con “lo demás”.

Si es verdad que desde hace varias décadas, antes la electricidad y luego lo digital conectan elementos distintos con un único lenguaje (De Kerckhove, 1997/1999), también es verdad que en estos últimos años, se están desarrollando tecnologías y dispositivos que convierten datos en materia, materia en datos y que los comunican entre ellos.

La fabricación digital, que en sí es comunicación, transforma bits en átomos (Gershenfeld,1999); dispositivos como Arduino y su plataforma, proporcionan los medios y el lenguaje para hacer hablar datos digitales y analógicos con elementos físicos de manera directa. La difusión masiva de esta tecnología, invita cada vez más al entendimiento de su funcionamiento, transformando el usuario en desarrollador. Este acercamiento generalizado al hacer, que con la fabricación digital ha acortado la distancia entre el diseñador y el objeto, reanudando el diseño del mismo con su materialización física, gracias a la familiarización con plataformas de entrada-salida de datos y materia, permite no sólo de fabricar objetos, sino también de diseñar interacciones entre ellos y con otras entidades, a través de la programación de estas relaciones que entran a hacer parte del proyec-

to, introduciendo el concepto de conexión como elemento de la arquitectura.

En este panorama, donde las capacidades singulares de las personas y de las cosas adquieren más valor y potencial al conectarse con los y lo demás, la comunicación se ha vuelto uno de los bienes más apreciados y más buscados, convirtiéndose en una de nuestras principales necesidades. Lo cual afecta no sólo la vida de los seres humanos a nivel de relaciones interpersonales, sino también la manera de percibir y concebir los objetos en relación con el espacio y su capacidad de interacción, ya que este potencial de conexión es parte de su naturaleza, de su esencia y por lo tanto de su arquitectura.

Si para quien usa las cosas y habita los edificios esta conexión es un valor y requisito que se busca, para quien los diseña, tiene que ser parte del proyecto, del sistema que lo define: la arquitectura cada vez más necesita hacer uso de dicha capacidad de comunicación para trascender. El objeto en sí es sensible, capaz de recibir datos, elaborarlos, reaccionar, comunicar. Al comunicarse, ya no se puede considerar singular y aislado, sino como componente de algo más complejo que nace de dicha comunicación. En cuanto componente, ya no se puede pensar como fijo o cerrado, sino más bien como un sistema capaz de variar y adaptarse.

Al crecer las conexiones, crecen también las dependencias entre las partes. Gracias a herramientas digitales de cálculo, visualización, materialización y al manejo de elevadas cantidades de datos en tiempo real, crece el dominio de los sistemas complejos generados por interrelaciones que, a pesar de existir desde siempre, sin dichas

tecnologías ni siquiera se podrían concebir. Lo cual evidencia otro punto clave de nuestra época: la relevancia de la interdependencia entre entidades, también similares o diferentes, que se introduce cada vez más en nuestra *forma mentis* a la hora de comprender lo existente y elaborar artefactos.

De esta manera, el objeto arquitectónico y “lo demás” se cruzan estableciendo interacciones que afectan a todos los integrantes, que se adaptan el uno al otro en una forma de resiliencia recíproca y continua.

El diseñador cada vez más toma conciencia la existencia de esta capacidad de conexión y empieza a introducirla en sus proyectos, o por lo menos en algunas partes de los mismos. Pero, ¿Está realmente consciente de todo su potencial? ¿Hasta qué punto lo está explorando y usando para sus investigaciones y proyectos?

En los proyectos y en las investigaciones, hoy en día se implementan y desarrollan un sinnúmero de dispositivos que permiten de conectar edificios con el entorno o con factores externos; no es una novedad encontrar sensores de presencia que provocan la abertura o el cierre de puertas o ventanas, detectores de sustancias que activan alarmas o que encienden luces etc.; las tecnologías cada vez más avanzadas permiten de leer, medir, recibir datos, al fin de optimizar, mejorar y economizar tiempo, dinero, energía, acciones, etc. Los edificios contienen cada vez más elementos de sensibilidad al contexto y comunicación; no obstante, están pensadas casi siempre para cumplir determinadas funciones, manteniéndose en el campo de la *utilitas*.

Sin embargo la fabricación digital, acercando el diseñador al “hacer” gracias a las posibilidades de materialización avanzadas, más que convertirlo en un constructor, fomenta la ideación y realización de conformaciones antes inimaginables, que además de ser estructuras firmes y cumplir con funciones, generan interacciones totalmente nuevas con lo demás, que se parecen cada vez más a comportamientos extendiéndose a campos, como las sensaciones, las emociones, los estados de ánimo etc., antes concebidos sólo como propios de los seres vivos.

Así mismo la familiarización con sensores, otros dispositivos electrónicos de entrada y salida y su programación, más que convertir al arquitecto en un técnico informático o electrónico que sabe enchufar cosas, lo obliga a cuestionar sobre la naturaleza de estas conexiones, que ya no pueden ser consideradas sólo bajo el punto de vista técnico, sino como elementos su arquitectura y parte integrante de su sistema. Lo cual abre un nuevo mundo de posibilidades donde la comunicación es parte de la arquitectura en todas sus formas y la conformación del objeto contiene en sí la programación de su manera de relacionarse.

A la luz de estas consideraciones, nació la idea inicial de estudiar un objeto arquitectónico sensible a “lo demás”, cuya relación con el contexto se pudiera plantear o como factor del mismo sistema que lo define, o como comunicación entre sistemas que hablan entre ellos, participando de todas formas en los procesos morfogénesis y en el desarrollo de su morfología, siendo dicha relación parte integrante de su arquitectura.

Al plantear el objeto arquitectónico de esta manera, las investigaciones sobre las posibilidades de relación entre el objeto arquitectónico con el contexto, empezaron a dirigirse más hacia el comportamiento de los seres vivos que al estudio de edificios ubicados en un entorno.

De aquí la investigación se consolidó en el estudio de un objeto arquitectónico cuya relación con lo demás, basada en los comportamientos y las interacciones entre seres vivos, le permitiera de manejar datos en tiempo real y que esta capacidad se desarrollara y expresara como parte de su naturaleza.

Si es verdad que hoy en día cada vez más hay un sinnúmero de estudios de elementos sensibles aplicados a la arquitectura y a pabellones capaces de reaccionar al entorno de manera directa sea a través de sensores, elementos robóticos, o con materiales performativos, que llegan a manifestar cambios de estado parecidos a comportamientos (basta con dar una mirada a las últimas investigaciones en desarrollo en escuelas o institutos como Architectural Association de Londres, el ETH de Zurich, el SCI-Arch en Los Angeles, el laaC de Barcelona, el ICD y el ITKE de la University of Stuttgart, el Media Lab del MIT o hasta en los varios Fab Labs de todo el mundo), también es verdad que la mayoría se relacionan con datos de factores medio ambientales y al fin de cumplir con funciones puntuales.

Si en vez buscamos arquitecturas sensibles a “lo demás”, capaces generar comportamientos que trascienden hacia las emociones, estados de ánimo, sentimientos o de todas formas con informaciones que vayan más allá de la mera función, los ejemplos son escasos o incompletos; entre los más cercanos, y sólo para citar algunos, se

evidencian el edificio D-Tower de Nox, realizado en el 2004, que, usando bases de datos, lanzaba informaciones sobre estados de ánimo de las personas y datos similares traducidos en cambios de color, pero que más que un espacio habitable se presentaba como una instalación artística, o el más reciente Furl, un modelo de pabellón interactivo cinético ideado en el 2013 por los investigadores Bijing Zhang y François Mangion dentro del Interactive Architecture Lab, un programa de máster de la Escuela Bartlett de Arquitectura de Londres, donde se planteaba un edificio que cambiara de forma respondiendo directamente a datos de ondas cerebrales, pero que nunca llegó a realizarse a escala real. Lo cual por un lado evidencia la actualidad del tema aquí tratado, pero por otro lado habla de también la necesidad de generar espacios habitables capaces de aquella trascendencia antes mencionada, que surge del potencial de comunicación, lo cual es lo que se pretende lograr con esta investigación.

El resultado de esta nueva fase, es un pabellón diseñado y fabricado digitalmente, que recibe datos del entorno en tiempo real a través de sensores y reacciona con cambios de color y movimientos.

El estudio de la comunicación entre el objeto arquitectónico y el contexto está basada en interacciones entre seres vivos y se enfoca en especial en la mimesis y en la proxémia, generando una relación entre el pabellón y los seres humanos que se acercan o lo habitan. A través de sensores de color y de proximidad se reciben datos que, gracias a Arduino, se conectan con la estructura física del pabellón, que incluye en su morfología piezas móviles y leds RGB; con la programación de varios códigos, han podido explorar varias posibilida-

des de generar manifestaciones de empatía, acuerdo o desacuerdo, miedo, confianza entre el pabellón y las personas.

Procesos metodológicos del apartado 2.3

La presente investigación, aun si con una gran cantidad de facetas, surge principalmente de dos factores: el más general es el gran poder de comunicación de nuestra época que, debido a los avances de la tecnología y a la gran difusión de las mismas, nos permite cada vez más de relacionar entidades similares y distintas de manera directa y en tiempo real con modalidades antes inimaginables, lo cual revoluciona el concepto de objeto en cuanto tal y en relación con el entorno. El otro, más puntual, mueve desde una investigación previa que, basada en los conceptos *del pensar* y *del hacer avanzado*, trata sobre procesos de generación de la forma a través de sistemas y su relación con la materialización, donde en sus etapas precedentes se empezó a manifestar la necesidad de fortalecer la relación del objeto arquitectónico con el contexto.

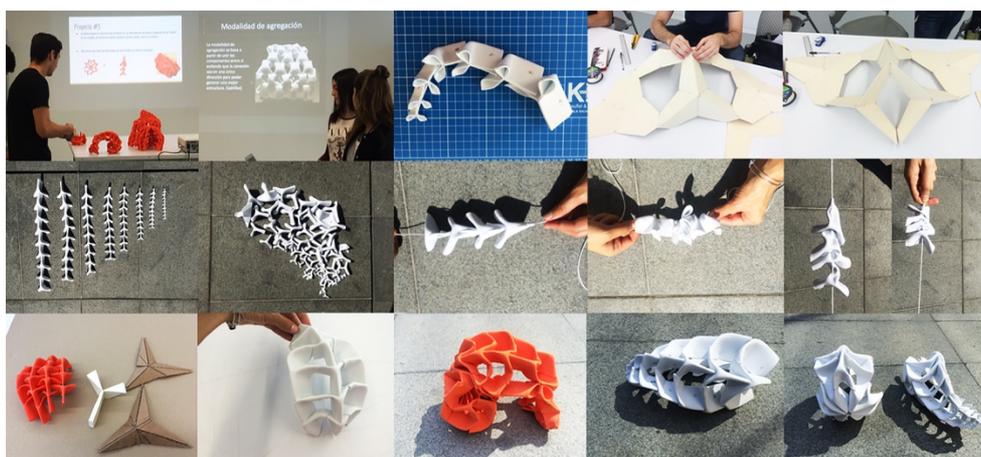


Figura 2.3.1: Daniela Frogheri, estudios de *form finding*.

Desde lo general surge la idea gracias a dicho potencial de comunicación se puedan estudiar tipos de relación entre el objeto arquitectónico y lo demás que vayan más allá de las cuestiones meramente estructurales o funcionales, trascendiendo hacia el campo de las relaciones entre seres vivos o individuos. Desde el segundo, se evidencia la necesidad de hacer que la relación con lo demás, no se considere como un elemento externo añadido al objeto arquitectónico, sino que se desarrolle en conjunto con el mismo, siendo por lo tanto contenido en su naturaleza.

De aquí los objetivos principales de la investigación, aquí divididos para mayor claridad pero conectados entre ellos: en primera instancia desarrollar un objeto arquitectónico capaz de relacionarse con lo demás de manera directa y en tiempo real, donde dicha relación sea parte de la naturaleza del objeto mismo; y segundo, pero no por orden de importancia, estudiar tipos de relación entre el objeto arquitectónico y lo demás, basadas en las relaciones entre seres vivos y sus comportamientos.

El objeto final, desarrollado por el equipo del FabLab Monterrey y el estudio de Elementos de la Arquitectura, se obtuvo a través de una retroalimentación continua entre el desarrollo de sistemas sea analógicos que digitales, prototipos a escala real, la exploración del potencial de la fabricación digital y del uso de dispositivos electrónicos.

Definiciones y delimitaciones

Los dos objetivos mencionados, si bien aparentemente claros, dejan espacio a una infinidad de posibilidades en cuanto a variedad de campos de estudio, modalidades y métodos de realización, materiales, por lo cual el primer paso obligado fue definir y delimitar: el tipo

de objeto a desarrollar, el tipo de relaciones a establecer, como realizarlas y, finalmente, con qué o quién relacionarlo.

Un pabellón de la familia Bichos

La elección del tipo de objeto arquitectónico fue inmediata, ya que el proyecto nace dentro del marco de la investigación previa *Bichos*, que contiene en sí ya una serie de características bien consolidadas y que se utilizaron como base y una metodología de trabajo para el estudio de las conformaciones (Frogheri, Estévez, 2016a).

Por lo tanto se definió como objeto arquitectónico un pabellón de la familia *Bichos* ideado dentro del concepto del proyecto como sistema, con estudios previos de *form finding* analógico (Figura 2.3.1) en modalidad *bottom-up*, para después generarse en *top-down* a través algoritmos geométricos y sistemas digitales paramétrico-asociativos y generativos realizados en *Rhinoceros*, *Grasshopper* y *Phyton* (Figura 2.3.2), y finalmente materializarse a través de la fabricación digital.

Su morfología surge desde el concepto del proyecto como sistema y nace desde criterios de organización entre una familia de componentes paramétricos que adaptándose los unos a los otros generan un sistema de cáscara auto-portante, que genera un espacio acogedor para sentarse y descansar.

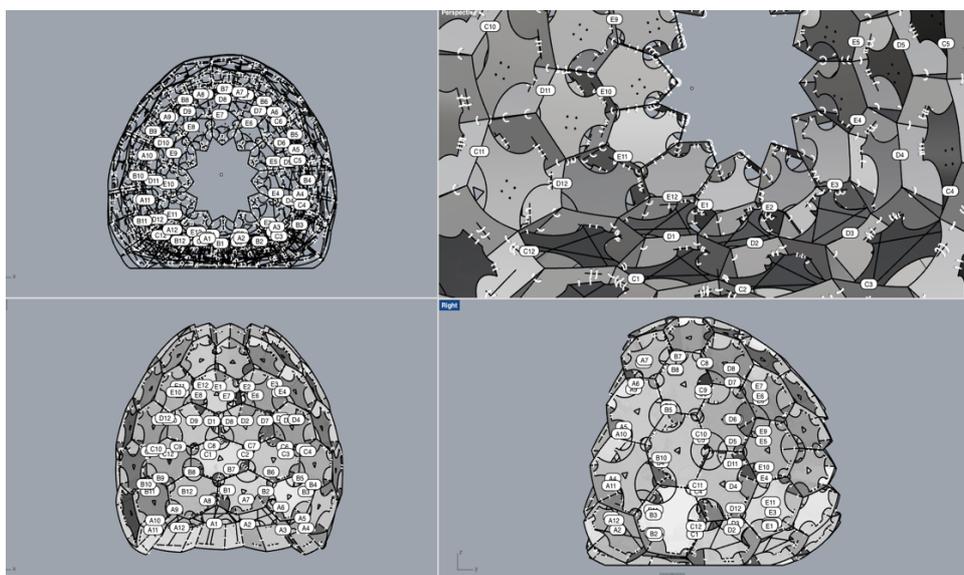


Figura 2.3.2: Daniela Frogheri, sistema digital.

Es aquí donde empieza la primera evolución en respeto a los pabellones precedentes: si en las versiones anteriores las lógicas de generación de los componentes y de sus agregaciones fueron determinadas por criterios de organización internos, inspirados generalmente en sistemas naturales, finalizados a la estabilidad de los pabellones y a su uso, en este caso además de dichos elementos, la morfología se pensó considerando también la relación con el exterior; así que por la forma de los componentes, su posición, su manera de agregarse y hasta su número se generaron no sólo según lógicas configuración internas sino para poder permitir dicha relación. Para lo cual se ampliaron sea la gama de materiales y elementos usados que las técnicas de fabricación manual y digital: a las tradicionales piezas de madera cortadas al láser de los pabellones precedentes, se juntaron elementos de lycra, piezas impresas en 3d, Arduinos, sensores, motores, leds RGB (Figura 2.3.3), el todo pensado como parte integrante de un mismo sistema.

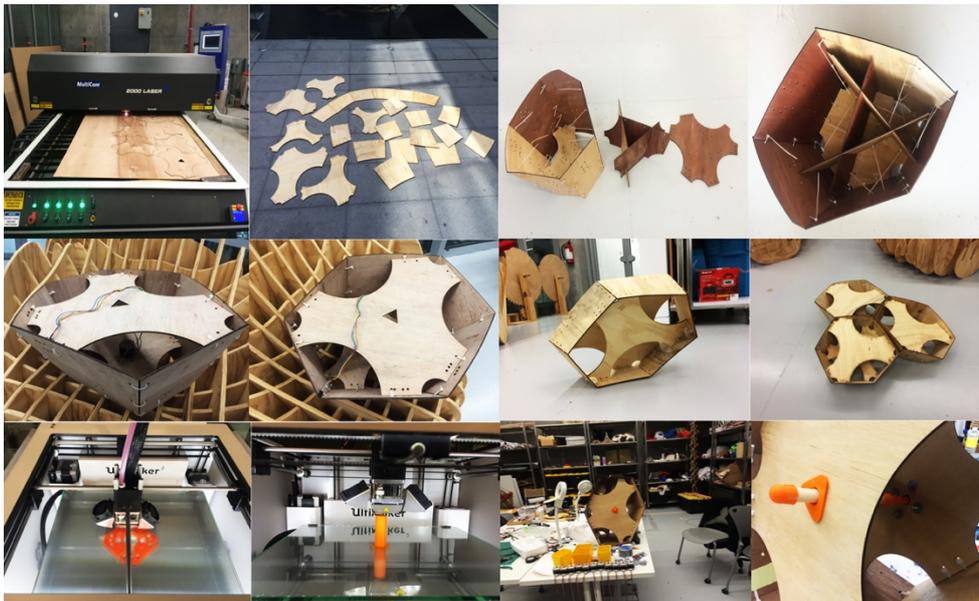


Figura 2.3.3: Daniela Frogheri, el sistema: fabricación digital, componentes y dispositivos electrónicos.

Sensibilidad y capacidad de acción

Desde el inicio se pensó en hacer que la relación entre el pabellón y el contexto se basara en la capacidad de este mismo de recibir datos, elaborarlos y adaptarse o responder de alguna manera a dichas informaciones; la idea del pabellón sensible surge sea desde las mencionadas consideraciones sobre el potencial de comunicación de nuestra época, sea también desde la naturaleza del proyecto *Bichos* en sí mismo, ya que como dice el nombre, los pabellones, por las lógicas de generación de sus morfologías y por el funcionamiento de sus sistemas constructivos, se consideraron siempre más como seres que como edificios; por lo tanto, una de las evoluciones lógicas del proyecto se dirigía justo hacia lo sensible.

Por lo tanto se definió que el pabellón recibiera datos de “lo demás” a través de sensores y que estos datos generaran reacciones o ac-

ciones por parte del pabellón, manifestándose a través de movimientos, cambios de forma o de luz y color.

En esta parte el rol del equipo del FabLab Monterrey fue fundamental ya que, además del dominio de los sistemas digitales y de la fabricación digital, ya se habían realizado trabajos e investigaciones previas con el uso de sensores, dispositivos de entrada y salida, Arduinos y otros artefactos para leer y devolver datos y el desarrollo de códigos.

El interlocutor y tipos de relaciones

La delimitación del contexto a relacionar con el pabellón y el tipo de comunicación a establecer no fue tan inmediata. Las primeras propuestas de los alumnos, aun conteniendo todos los puntos mencionados arriba se dirigían hacia lo funcional como por ejemplo hacer que el pabellón cerrara o abriera unas partes en según el sol o la lluvia; sin embargo, la antes mencionada intención de trascender llevó a buscar algo más radical; por lo cual se decidió dirigir la sensibilidad del pabellón hacia las personas, intentando instaurar con ellas una nueva relación que, aun sin eliminarlas, fuera más allá del uso y de la función.

Fue bajo esta vertiente que se empezó a estudiar cómo hacer que el pabellón recibiera datos de acciones de las personas y como programar sus respuestas; lo cual llevó a considerar dichas respuestas como comportamientos, basados en las interacciones entre seres vivos.

Finalmente, dentro de una vasta gama de posibilidades, sea por algunas circunstancias espaciales debidas a la ubicación del pabellón,

sea por la existencia estudios previos realizados en el FabLab Monterrey sobre la aplicación de la sinestesia al diseño, en especial la investigación *TransSynasesthesia* (Frogheri, Estévez, 2016b), se desarrollaron dos comportamientos del pabellón, el primero basado en la proxémia y el segundo en la mimesis.

En el primer caso el pabellón, a través de un sensor de proximidad conectado a unos motores, reacciona al acercarse de las personas a través de un cambio de forma que basado en los estudios sobre la sinestesia y el “efecto Bouba/Kiki” (Ramachandran, Hubbard, 2001b) manifiesta sensaciones de miedo o tranquilidad. En el segundo caso, a través de sensores de color y leds RGB, se ilumina imitando el color de las prendas de las personas que lo habitan o de objetos que estas mismas le acercan, mostrando de esta manera sintonía y empatía (Figura 2.3.4).

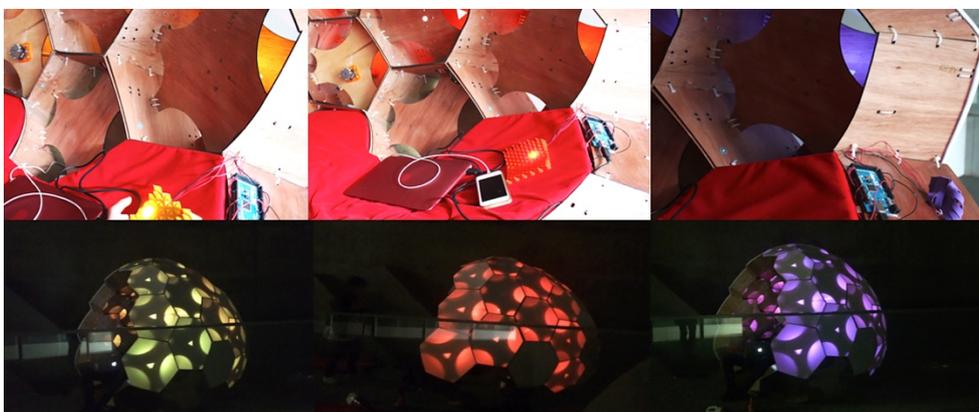


Figura 2.3.4: Daniela Frogheri, comportamiento mimético: sensor de color y leds RGB.

En ambos casos, además de sensores, motores y leds RGB, se utilizó Arduino sea como dispositivo de conexión entre parte física y da-

tos, sea plataforma para desarrollar los códigos con los cuales se programaron los comportamientos.

Resultados del apartado 2.3

Sistema y cuerpo

El pabellón llamado *Bicho 7* (Figura 2.3.5) surge desde una proliferación de componentes paramétricos hexagonales organizados según los principios del *close packing* y del panal, que conforman una cáscara ovoidal auto-portante, con dos aberturas que permiten de generar un espacio para sentarse y acostarse, quedando abierto pero a la vez protegido del exterior.

La geometría de los elementos, generados a con algoritmos geométricos con *Grasshopper*, se estudió a través de superficies planas y por lo tanto desarrollables, lo cual permitió la fabricación a través de elementos planos cortados al láser.

La estabilidad del sistema, aprendiendo de los pabellones precedentes, se logra casi totalmente gracias a la morfología de los componentes y de sus uniones (Maturana, Varela, 2006), lo cual permitió optimizar tiempos y costos gracias al uso de materiales muy delgados, en este caso *plywood* de madera caobilla de 4mm de grosor (Figura 2.3.6).



Figura 2.3.5: Daniela Frogheri, el pabellón *Bicho 7*.



Figura 2.3.6: El sistema: materia, organización y motores.

Los componentes hexagonales, constituyen una familia con tres variantes: la primera, se utilizó para algunas piezas laterales, pero en realidad es la base de todas, consiste en seis piezas de madera que definen el hexágono y dos elementos internos, siempre de madera que fortalecen la conexión; las uniones entre las partes de estas piezas se obtienen a través de encajes y *cinchos* de plástico; la segunda variante es similar a la primera, pero con otros tres elementos

cruzados con encajes, siempre de madera, que formando un triángulo, fortalecen aún más la estructura; este tipo de pieza se utilizaron para la base que es el espacio para sentarse; la tercera variante, siempre basada en la primera, es la más compleja ya que comprende un motor y un pistón, soportados y completados por unas piezas diseñadas a medida e impresas en 3D, y una piel de lycra que recubre la parte superior del hexágono, y una tira de cinco leds RGB; estas últimas piezas son la mayoría, y forman la parte ovoidal de la cáscara.

Todos los componentes tienen un espacio para los cables que conectan los dispositivos electrónicos cuales los sensores y los Arduinos a los motores y a los leds RGB; Los componentes se unen entre ellos de manera muy sencilla, con *cinchos* y tornillos, lo cual garantizó la rápida construcción y el armado (Figuras 2.3.7 , 2.3.8 y 2.3.9).



Figura 2.3.7: Daniela Frogheri, fabricación y armado.



Figura 2.3.8: Daniela Frogheri, instalación de los dispositivos electrónicos: el movimiento.

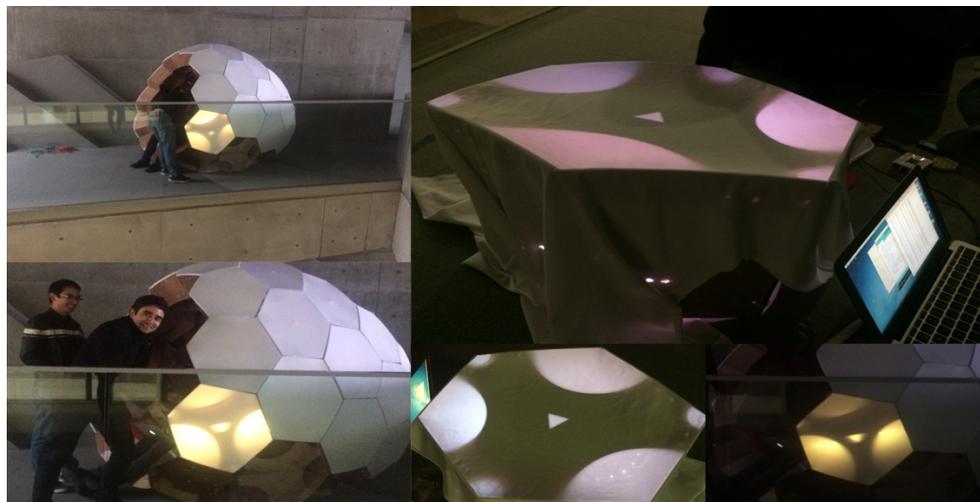


Figura 2.3.9: Instalación de los dispositivos electrónicos: el color

Sistema, comportamiento y forma

El reto principal del trabajo fue desarrollar un objeto arquitectónico que por un lado perteneciera a la familia de los pabellones *Bichos*, manteniéndose dentro de las líneas básicas de la investigación, y que por otro evolucionara en respeto a sus predecesores introduciendo el tema de la relación con el contexto como parte del sistema mismo, y por lo tanto como elemento de su arquitectura.

Para lograr dicho objetivo, sea la conformación general que la de los componentes fueron pensados en base a los siguientes requisitos:

1: Cumplir con las funciones del pabellón como objeto arquitectónico en cuanto tal y a su función de espacio para estar y descansar, que por lo tanto tenía que sostenerse, aguantar el peso de dos o tres personas, ser cómodo, acogedor y generar un poco de privacidad.

2: Relacionarse con objetos acercados por las personas, iluminándose y tomando el color de los mismos, simulando empatía y acuerdo.

3: Relacionarse con las personas que se acercan, recibiendo los datos de dicha cercanía y reaccionando a través de un cambio de forma que simulara estados de ánimo cuales miedo y tranquilidad.

La estabilidad y el confort se lograron fácilmente a través de la geometría de base de los componentes, la firmeza de las uniones, la conformación general de ovoide alargado en la base y el tipo de porosidad de las piezas. Para manifestar los comportamientos en vez, fue necesario sea programarlos en cuanto tales que estudiar como relacionarlos a la forma.

Para poder expresar el cambio de color (Figura 2.3.10), todas las piezas tenían que contener elementos capaces de iluminarse, conectados con el sensor, con un Arduino y, por supuesto entre ellos; este sistema, aparentemente sencillo, se mostró más complicado de lo previsto debido a la gran cantidad de componentes a iluminar, o sea todas las piezas del pabellón menos las de la base, y las largas distancias entre los elementos; además cada led, por ser RGB y por tenerse que conectar con los datos del sensor y con la electricidad,

requería cinco cables diferentes, lo cual generó una gran cantidad de conexiones que necesitaban un espacio adecuado donde poderse colocar.

Otro tema fue la programación del sensor de color, ya que estando el pabellón en un espacio semi-abierto, para poder lograr el efecto mimético, se tuvieron que calibrar los parámetros de cada color varias veces antes de lograr el efecto mimético buscado. La luz llega a las piezas de manera indirecta y se percibe sea dentro del pabellón que afuera, gracias la lycra que recubre los componentes en la parte exterior y a la conformación de las piezas internas de los mismos.

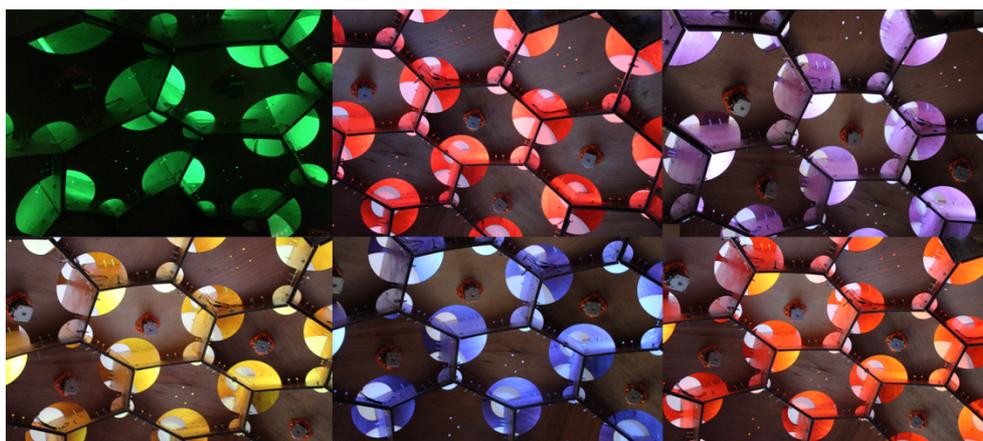


Figura 2.3.10: Daniela Frogheri, comportamientos: mimetismo.

Cabe decir que en este caso la conexión entre el comportamiento y la morfología no está estrictamente limitado al mimetismo, sino más bien a la posibilidad de iluminar las piezas y hacer que cambien de color; lo cual permite la posibilidad de programar una gran variedad de otros comportamientos, adaptándose a otras situaciones o circunstancias, enviando mensajes que se pueden expresar a través

de la luz, con sólo cambiar el código, evidenciando aún más el gran potencial de comunicación del sistema. (Figura 2.3.11).

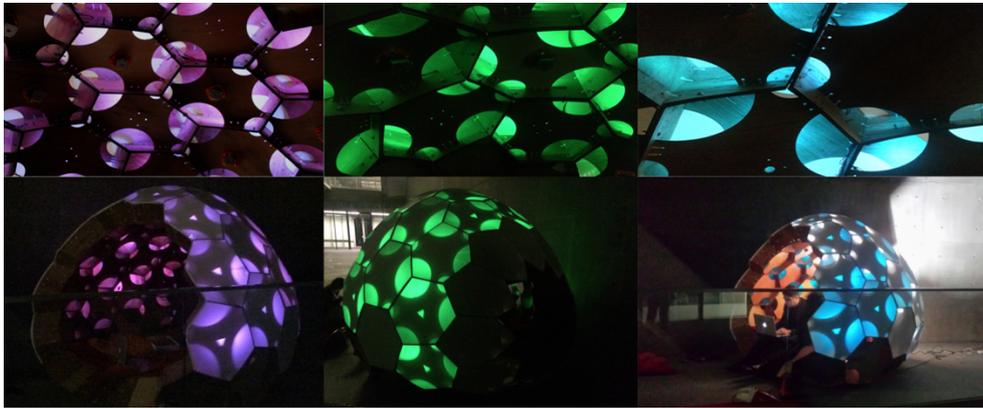


Figura 2.3.11: Daniela Frogheri, comportamientos: mimetismo.

En cuanto al comportamiento vinculado al acercarse de las personas (Figuras 2.3.12 y 2.3.13), se pensó en la sinestesia y en las reacciones de ciertos animales (Hall, 1971), cuya piel puede pasar de una condición lisa o redondeada a un estado puntiagudo; se pensó por lo tanto de generar estas dos condiciones en los componentes del pabellón, que en estado neutro o normal se muestran como lisos y generan en conjunto una forma redondeada, que simula un estado de tranquilidad, mientras al acercarse las personas, detectadas con un sensor de proximidad, activan los motores colocados en algunos de los componentes, generan el desplazamiento de los pistones, formando una punta en cada uno de ellos; dando al pabellón un aspecto de “asustado” o “defensivo” o “sorprendido” al acercarse de las personas, simulando una primera reacción, para después volver al estado “relajado” cuando la persona se acerca más para sentarse.

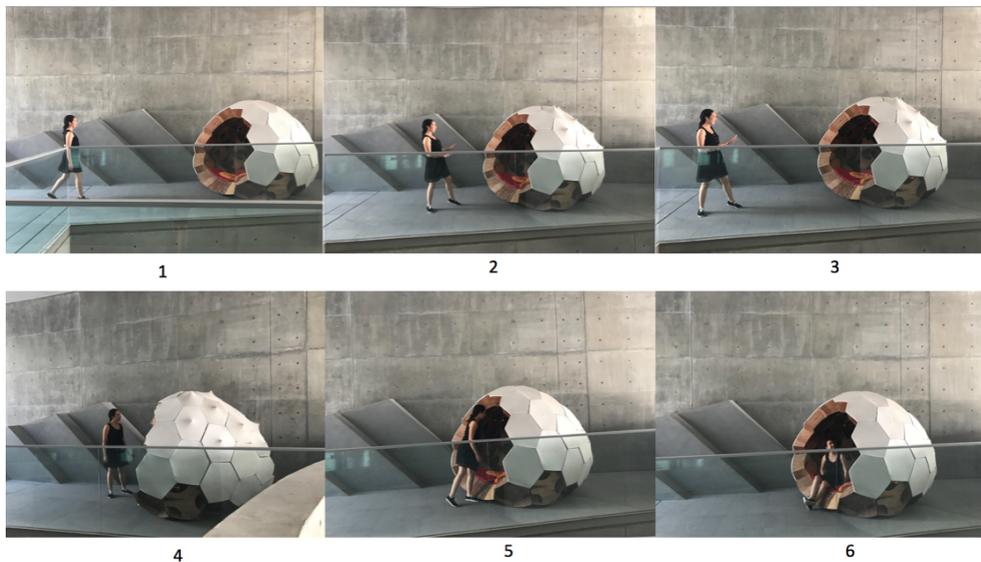


Figura 2.3.12: Daniela Frogheri, comportamientos: proximidad.

El diseño y la programación de esta parte fueron a la vez muy interesantes y complejos, empezando desde el diseño del movimiento en sí y de los componentes físicos para lograrlos, pasando por la calibración de los sensores, hasta la complejidad de las relaciones entre los motores, su cableado y la distribución de la energía; lo cual hizo que esta parte del sistema funcionara de la manera deseada solo en algunas partes del pabellón, y está todavía en fase de ajuste.

Sin embargo, no obstante los inconvenientes mencionados, el sistema en general funciona muy bien, y el pabellón, sensible a los colores y a las personas, manifiesta sus comportamientos a través de su misma forma, siendo estos mismos parte de su naturaleza, como fue planteado desde el inicio.

Lo cual se considera un gran éxito, determinando un primer paso hacia aquella trascendencia de la relación entre el objeto arquitectó-

nico y lo demás dictada por las actuales posibilidades de comunicación, buscada desde el inicio de la investigación.



Figura 2.3.13: Daniela Frogheri, comportamientos: proximidad.

Conclusiones del apartado 2.3

Uno de los puntos fundamentales de este trabajo fue lograr establecer una relación entre el objeto arquitectónico y lo demás trascendiendo el concepto de edificio tradicional hacia los comportamientos de los seres vivos, pero a la vez sin dejar de ser espacio habitable y por lo tanto de funcionar también como tal (Costa, 2009); dicha consideración es muy importante ya que en general las investigaciones sobre objetos que se “comportan”, como mencionado antes, o son meramente finalizadas al satisfacer funciones, se realizan como instalaciones artísticas o se concretizan en objetos que reciben y actúan, pero en general dejan de ser espacios habitables.

Sin embargo, en un mundo donde todo se conecta o tiene el potencial de hacerlo, y donde las cosas cada vez más se definen por su capacidad de relación y de interactuar con lo demás, los espacios necesitan también ser pensados como sistemas cuyas conformaciones contienen sí dicha capacidad de comunicación.

Los comportamientos elegidos para este estudio, aun si seleccionados de manera específica entre una vasta gama de posibilidades con toda la intención de generar cierto tipo de relación entre el pabellón y las personas y al fin de enviar determinados mensajes, en realidad se pueden considerar también como un primer pretexto para evidenciar el poder de la comunicación y abrir las puertas hacia el estudio de otras posibilidades de relación; lo cual por supuesto será objeto de estudios futuros de la línea de investigación *Bichos*.

Por supuesto el trabajo tiene algunas lagunas y unos puntos débiles, entre los cuales la necesidad de encontrar una manera más sencilla y elegante para producir los movimientos de las piezas que producen variaciones de forma o las conexiones entre los datos de entrada y las acciones consecuentes, de momento realizadas con una elevada cantidad de cables y que seguro se pueden estudiar de otra manera; sin embargo, aun así, se logró plantear la relación con el contexto como elemento de diseño que participa en la morfología, lo cual da una nueva dimensión al concepto de proceso de generación de la forma y fortaleciendo la idea del proyecto como sistema.

Otro tema que se evidenció, que determinó realmente un gran aprendizaje para los estudiantes, fue la comprensión de las posibilidades de extensión del campo de acción del arquitecto y del diseñador en general: además de tener su primer acercamiento con el mundo del diseño computacional y de la fabricación digital, los alumnos, al relacionarse de manera directa con el equipo del FabLab Monterrey, pudieron entrar en contacto otra capa del *hacer avanzado*, que comprende el desarrollo de códigos, el uso de dispositivos electrónicos, la capacidad leer y devolver datos y acciones en

tiempo real; lo cual les proporcionó todo un mundo de posibilidades para sus futuros proyectos.

Así como mencionado en varias ocasiones en este *paper*, el trabajo aquí presente surge desde una investigación más amplia, de la cual a la luz de los resultados, además de ser una evolución, se puede considerar como una nueva rama de desarrollo que mira hacia el estudio de las posibilidades de relación entre arquitectura y contexto que llevan los avances de la tecnología y el potencial de su difusión masiva hacia el mundo de los espacios habitables.

Por lo tanto, la investigación no se cierra con este pabellón, sino más bien es fuente de nuevos materiales para el desarrollo de nuevos avances.

APARTADO 2.4¹⁵

Morfologías resilientes: desde lo digital a la materia

Introducción del apartado 2.4

En este apartado se presenta una investigación aplicada al desarrollo de morfologías resilientes desde el entorno digital hasta su materialización.

El trabajo consiste en la generación de dichas morfologías que se entienden como sistemas paramétrico-asociativos, constituidos por proliferaciones de componentes definidas a través de lenguajes formales, y en el estudio de sus varios tipos de resiliencia, sea en el entorno digital que en su materialización física.

La investigación surge desde algunas consideraciones sobre la actual relevancia del concepto de resiliencia en el campo del diseño en todas sus escalas, con una mirada hacia los procesos de generación de las formas y en especial hacia aquellos que conciernen las geometrías complejas.

¹⁵ **Este apartado se ha recogido publicado en** Frogheri, D.; Meneses-Carlos, F.; Estévez, A. T. (2017). "Morfologías resilientes: Desde lo digital a la materia". En AA.VV., *Blucher Design Proceedings*, v. 3, n. 12, São Paulo: Blucher, pp. 311-318. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/sigradi2017-049.

Presentado en el foro de alto impacto "SiGraDI, XXI Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital", Concepción, Chile, Noviembre 2017. Indexado en CumInCAD.

Los dos motores principales del trabajo, ambos relacionados con los avances de la tecnología y con su difusión masiva, son la elevada capacidad de comunicación entre entidades similares y diferentes, característica de nuestra época, y la también elevada capacidad de reconocer y manejar la complejidad a través de la cual interpretamos lo existente y generamos nuevos artefactos.

Por lo que concierne la capacidad de comunicación, podemos decir que hoy en día, sobre todo gracias a la universalidad de lo digital en cuanto lenguaje, nos encontramos en una realidad dinámica donde el potencial de relación de las personas y de las cosas es más elevado que nunca; la cantidad de informaciones a las cuales tenemos acceso, sean estas acumuladas sea que se manipulen en tiempo real, es también más elevada que nunca; lo cual evidencia una gran cantidad de datos y objetos concebidos como elementos conectados, la gran velocidad con la cual se conectan y por lo tanto un elevado número de relaciones e interdependencias que se configuran y reconfiguran rápidamente y sin parar.

En este panorama, donde nuestra visión de la realidad es cada vez más dinámica y a la vez compuesta de conexiones, el objeto ya no se concibe como una entidad fija y aislada, sino más bien como parte integrante de un conjunto de relaciones que lo conforman, lo definen y lo conectan con lo demás.

Por otro lado, cabe recordar que la computación ha revolucionado el mundo del diseño en todas sus facetas y escalas; desde la introducción de los primeros *softwares*, fue claro que se trataba de herramientas que no sólo servirían para dibujar más rápido, sino que también definirían otras maneras de pensar, aquí también abarcan-

do el entendimiento del existente y la ideación de nuevos artefactos, lo cual además de forjar y consolidar el concepto general del proyecto y de la forma como sistema, permite el conocimiento y el dominio de las geometrías complejas, desde su acepción teórica hasta su aplicación para la realización de objetos tangibles.

En el camino hay un sinfín de herramientas, entre ellas la velocidad de cálculo, la capacidad de visualizar datos antes invisibles, la posibilidad de trabajar con algoritmos geométricos y visuales, bi y tridimensionales; donde uno de los puntos fuertes del dominio de dichas geometrías complejas es el manejo de los procesos de generación de la forma en cuanto estructura, con estudios que llevan a la formulación de reglas o patrones de organización cada vez más controlados y controlables.

De esta manera podemos bien decir que hoy en día, por un lado tenemos la capacidad de generar conformaciones complejas, cuya estructura procede de reglas de generación u organización bien definidas que determinan su naturaleza de manera muy clara, y que por otro lado, dichas conformaciones son sistemas de elementos y reglas que los relacionan, compuestos por partes fijas y otras variables, capaces de cambiar según parámetros conectados con el interior del sistema mismo o con el exterior, adaptándose y reconfigurándose según el tipo de dependencias, pero sin perder las bases de su propia identidad.

Llevando el discurso al mundo del diseño, podemos ver cómo estas conformaciones tienen todas las características para traducirse en objetos, y por lo tanto objetos arquitectónicos, cuya estructura bien definida y cuya capacidad de adaptarse en relación con lo demás sin

perder sus bases esenciales, los ponen al alcance de nuestro presente. Lo cual nos envía directamente a las características antes mencionadas de las geometrías complejas y por ende los objetos que potencialmente pueden surgir de las mismas: la capacidad de adaptarse según factores de variación, y al mismo tiempo la capacidad de volver a su estado inicial, por lo tanto de poseer principios que le permitan de no perder su estructura de base.

A la luz de estas consideraciones, notamos como algunos conceptos más que otros se van consolidando como parte de nuestra *forma mentis* permeando en todas las capas de nuestras vidas, empezando desde como percibimos e interpretamos lo que nos rodea, hasta las maneras en que planteamos resolver problemáticas, satisfacer necesidades o elaborar nuevas ideas y artefactos.

Dentro de dichos conceptos, el de “resiliencia” aparece cada vez más y con diferentes matices, por aplicarse en varios campos de estudio, que van desde cuestiones tangibles como las propiedades de los materiales, a estudios sobre comportamientos y por lo tanto en el campo de la psicología o neurología, o en términos más sociales o urbanos, sólo por citar algunos; lo cual evidencia también la gran variedad de significados del término. Sin embargo, si buscamos el origen de la palabra encontramos que su raíz latina significa rebotar o sea volver atrás, que según la Real Academia Española se ha consolidado en dos acepciones: la primera como la capacidad de adaptación de un ser vivo frente a un agente perturbador o un estado o situación adversos, y la segunda como la capacidad de un material, mecanismo o sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido.

Estas dos definiciones, que en realidad abarcan todas las otras variantes de la resiliencia, ponen el acento sobre dos puntos fundamentales de aquella visión de los objetos, y por ende de las formas y de las conformaciones, concebidos como sistemas de relaciones antes mencionada: la capacidad de adaptarse según factores de variación, y al mismo tiempo la capacidad de volver a su estado inicial, por lo tanto de poseer principios básicos que le permitan de no perder su propia identidad. Lo cual nos envía a los conceptos de adaptación de los seres vivos frente al contexto y al de sistema paramétrico.

Sobre la cuestión de adaptación de los seres vivos en respeto al contexto, según Jorge Wagensberg:

“Cualquier objeto real divide el mundo en dos partes: él mismo y el resto del mundo. (...) la relación del individuo con su entorno no se define con la idea de adaptación sino de independencia, un término que tiene un nítido significado a la hora de hablar de la estabilidad de un sistema y de sus eventuales interacciones con su mundo exterior. Un pedazo de materia inerte, por ejemplo, se calienta mansamente cuando en su entorno inmediato aumenta la temperatura. Se adapta. Un ser vivo, en cambio, tiende a reorganizarse para que su temperatura se mantenga como si en el entorno no hubiera ocurrido nada. Cambia para que nada cambie.” (Wagensberg, 1989, pp. 42-43).

De donde, otra vez, se evidencia la importancia de los procesos de generación de las formas antes mencionados, sea en términos de definición de aquellas características que las identifican y delimitan en respeto al “otro”, sea en cuanto a formulación de los tipos de relaciones con dicho “otro”, al cual se adaptan con variaciones según reglas y rangos que son parte de la forma misma.

Lo cual nos lleva directamente al concepto de sistema paramétrico, y por ende al de diseño paramétrico, cada vez más común en las modalidades de elaboración de artefactos, sea en ámbitos profesionales que académicos. Un sistema paramétrico, en general, se compone de partes fijas y de partes variables, según las cuales definimos sea la naturaleza del sistema, o sea lo que nos dice “qué es el sistema” y lo que “no lo es”, o sea “el otro”; y sus capacidades de permeabilidad o menos hacia dicho “otro”, por las cuales el sistema se modifica mediante las variaciones de ciertos parámetros.

Los conceptos de variable y de parámetro, que contienen en sí un alto poder de reconfiguración y adaptación y a la vez la capacidad de volver a su estado inicial, son de gran impacto en nuestro presente, especialmente en el mundo del diseño, debido al desarrollo de *softwares* y herramientas que cada vez más favorecen la familiarización con la idea del proyecto como sistema y de adaptabilidad, interdependencia, relación etc. que se expresan aún más a con el diseño paramétrico-asociativo y generativo en todas sus formas. Sin embargo no se trata de algo nuevo, sino más bien tiene raíces muy lejanas.

Si vamos más allá del campo del diseño y buscamos los orígenes del pensar paramétrico, encontramos que sus primeras manifestaciones conscientes se deben al concepto de algoritmo (Penrose, 1989) y álgebra donde su gran diferencia con la aritmética es justo la de generar entidades capaces de variar aún sin perder su naturaleza; desde ejemplos muy sencillos como el de la diferencia entre la suma aritmética “ $1+1=2$ ” y su correspondiente algebraico “ $a+b=c$ ”, donde las letras no sólo pueden contener números sino también otras entidades que además de generar otros resultados, hasta po-

drían llegar a significar que $1+1$ es diferente a 2; pero donde el significado básico de suma, representado por ese “+”, se mantiene como estructura fija, que nos garantiza que el sistema pueda volver a su estado inicial.

La diferencia entre álgebra y aritmética, trasladada desde el mundo de las matemáticas al de las formas, se convierte en un gran potencial de aquellos elementos capaces de adaptarse sin dejar de ser sí mismos, típica de los elementos generados a través del diseño paramétrico, y que hoy en día podemos considerar como propiedad imprescindible de las formas y de los objetos que se quieran relacionar con la complejidad de nuestro presente. El objeto se concibe así como una estructura que nace de una serie de relaciones que lo conforman y a la vez definen sus variaciones, podemos hablar de la “resiliencia de los sistemas paramétricos”, capaces de adaptarse, modificarse y volver al estado inicial.

En base a estas premisas nació la idea general de desarrollar una serie de morfologías generadas a través de sistemas paramétricos y estudiar sus formas de resiliencia.

Siendo el concepto de “morfologías generadas a través de sistemas paramétricos” extremadamente genérico, mirando de manera más específica a aquellas procedentes de sistemas formales figurativos o menos (Chu, 2005), (Hofstadter, 1989/2003), capaces de proliferarse por medio de componentes asociados, notamos que poseen un nivel más de resiliencia debido a la capacidad de los componentes de adaptarse recíprocamente; dando así origen a conformaciones reconfigurables que adquieren ciertas propiedades y características intrínsecas fuertemente vinculadas con esta resiliencia, que pode-

mos llamar interna, ya que nacen de la misma y le proporcionan la capacidad de conectarse con el exterior.

Por otro lado, al considerar el pasaje de estas conformaciones desde el estado digital a su materialización física, sea como estudios de la forma finalizados a la generación de conocimientos, sea en cuanto objetos arquitectónicos reales, se vio oportuno también tomar en cuenta las formas de resiliencia de dichos sistemas a la hora de pasar desde lo digital a la materia.

Por lo cual, desde la hipótesis de la existencia de varios tipos o niveles de resiliencia de las formas y conformaciones procedentes de sistemas paramétrico-asociativos, el estudio se enfocó hacia el desarrollo de morfologías compuestas de proliferaciones de componentes, definidos por lenguajes formales, capaces de conformar geometrías complejas y el estudio de sus tipos de resiliencia.

Las morfologías desarrolladas se dividen en dos familias: morfologías abstractas y morfologías aplicadas; ambas con la intención general de desarrollar conocimiento sobre el potencial de resiliencia de las formas y de los sistemas paramétricos y así generar objetos más adecuados a nuestro presente; las primeras con un fin más teórico y las segundas con una aplicación real.

El trabajo se ha realizado en ámbito académico en la Universidad de Monterrey (UDEM) en México, como investigación del FabLab Monterrey aplicada a los cursos de Morfología, Geometrías Generativas y el estudio de Elementos de Arquitectura.

Por lo cual a los objetivos propios de la investigación, se juntan también los objetivos de cada uno de los cursos, relacionados con el aprendizaje y al fin de fomentar el dominio de los conceptos del pensar y el hacer avanzados desde las primeras etapas de la formación de los diseñadores.

Procesos metodológicos del apartado 2.4

Así como mencionado precedentemente, se desarrollaron dos tipos de morfologías: abstractas y aplicadas; tal división se debe más a las dinámicas de generación de las mismas que a su propia naturaleza, ya que aun si con algunas diferencias, todas se pueden definir como sistemas paramétrico-asociativos que surgen de lenguajes formales; todas son conformaciones compuestas de proliferaciones de componentes.

En general el trabajo consiste en tres etapas fundamentales: siendo la primera el estudio y definición del componente y de sus variaciones, la segunda el estudio y definición de sus posibilidades de agregación y finalmente, la tercera el desarrollo de una configuración final que en algunos casos llega a su materialización física. Sin embargo en este recorrido hay variaciones debidas a los tipos de estudios realizados.

En esta sección se presentarán las modalidades de desarrollo de dichas morfologías y los tipos de resiliencia individuadas como propias de sus sistemas.

Morfologías M1: sistemas abstractos analógicos, desde el bottom-up al top-down

Este tipo de conformaciones se estudian dentro del curso de Morfología y consisten en el desarrollo de un sistema paramétrico-asociativo material, según los principios del *form finding* analógico y del *bottom-up*, para después realizar una conformación en *top-down*. Donde los objetivos principales del estudio son comprender y dominar geometrías complejas a través de las propiedades performativas de la materia.

El trabajo empieza con el estudio de un componente material, generalmente usando como base un cuadrado de *foamy* (Douglis, 2009), aplicando pliegues y cortes para explorar posibilidades de conformación dictadas por intuición y por las propiedades del mismo material; después de las primeras exploraciones se definen las reglas de configuración interna del componente, estableciendo así los primeros pasos de un sistema formal, y por lo tanto su control.

Desde esta formulación, se estudian las posibilidades de variación que se exploran a través de materializaciones y a la vez se controlan como parte del sistema formal, estableciendo una familia de componentes y sus límites.

Después se estudia la capacidad de agregación de los componentes, empezando a experimentar todas las agregaciones posibles entre dos elementos, para después pasar a uniones de más piezas. Cabe decir que en este proceso no hay una intención definida, sino más bien se trata de explorar las opciones dictadas por la naturaleza formal y material de los componentes; en seguida, se realizan siste-

mas unidimensionales con agregaciones lineales y sistemas de agregaciones bi y tri-dimensionales.

Una vez desarrolladas dichas proliferaciones, se empiezan a analizar las características de los sistemas obtenidos, extrapolar las propiedades de cada uno, tales como elasticidad o rigidez, porosidad, cierre, compresión, expansión u otras que tienen más relación con la espacialidad, como por ejemplo la capacidad de envolver o contener etc.

Posteriormente los estudiantes desarrollan un nuevo sistema, ahora sí con intención, para al final conformar una morfología que tenga una o más características espaciales o de habitabilidad bien definida: por ejemplo, generar una proliferación capaz de contener y que tenga tres niveles de porosidad, o generar un sistema envolvente auto-portante totalmente cerrado, etc., que aun quedándose todavía a nivel de elementos abstractos, inician a acercarse al concepto de edificio.

Con estos estudios, los alumnos involucrados, familiarizan con el concepto de *form finding*, aprenden a observar las propiedades intrínsecas de la materia y de las formas y a formular lógicas de las formas dictadas por estas mismas; además entran en contacto por primera vez con el concepto de sistema emergente (Johnson, 2001/2003), donde cada elemento tiene sentido al relacionarse con los demás, siendo capaz de adaptarse a varias condiciones según su propia naturaleza y los estados de los vecinos.

Morfologías M2: sistemas abstractos digitales, top-down y sistemas formales

Estos sistemas se estudian en el curso de Geometrías Generativas y consisten en el desarrollo de conformaciones complejas a través de la formulación de un lenguaje formal (Stiny, 1980). Dichas conformaciones, contrariamente a las precedentes, nacen completamente en el entorno digital y se definen a través de la formulación de reglas previas. El trabajo se basa en el concepto de sistema visto como un conjunto de elementos y reglas los relacionan.

Así como para las morfologías M1, se empieza con el desarrollo de un componente, esta vez en el entorno digital, formulado de manera precisa desde el inicio, a través de reglas establecidas que se expresan mediante sistemas de sustitución (Wolfram, 2002) o con sistemas geométricos sencillos. En ambos casos es fundamental la formulación de reglas bien formadas, que definen las bases del lenguaje formal. En este caso, antes se define un componente fijo indicando todos los pasos de su conformación; después siguiendo dichos pasos, se formula un algoritmo a través del cual se define el componente como entidad paramétrica, que llamamos “unidad algebraica” o también “axioma”.

Una vez establecido el componente con sus posibilidades y rangos de variaciones, se desarrolla su proliferación. Aquí se pueden seguir dos caminos; el primero es un proceso de crecimiento generativo, del tipo *L-System*, con reglas de desarrollo bien definidas, que serán los pasos sucesivos del lenguaje formal, donde dichas conformaciones se desenvuelven a varios niveles, formando en un inicio “letras”, para después agregarse formando entidades más complejas que

llamaremos “palabras”, “frases” ... según el avance de las generaciones (Prusinkiewicz, Lindenmayer, 2012).

El segundo camino de crecimiento se basa en el hacer proliferar los componentes en entornos pre-establecidos, sean ellos mallas con diferentes tipos de organización y geometrías de base, o en superficies definidas, que pueden ser planas con varios niveles de curvatura y complejidad. En estos casos las reglas de agregación de los componentes están relacionadas con la naturaleza del entorno en el cual se desarrollan, que en general consisten en tipos de teselaciones triangulares, cuadrangulares, hexagonales, radiales, etc. En ambos casos, las proliferaciones, así como los componentes, son sistemas paramétricos-asociativos y se desarrollan en el entorno digital a través de algoritmos geométricos generados en *Grasshopper*.

Una vez definidas dichas conformaciones, donde las reglas de organización y los rangos de los parámetros pueden ser considerados como la estructura intrínseca del sistema, se introducen uno o más factores de influencia externos que afectan al sistema mismo. Dichos factores re-definen la naturaleza del sistema, que desde una entidad aislada se convierte en algo que comunica con el exterior y se modifica según criterios, también bien establecidos y formulados, que entran a hacer parte de su morfología, afectándola pero sin minar la estructura de su definición formal inicial.

Uno de los puntos fundamentales de estos trabajos es el control: se trata de sistemas cuyas lógicas de la forma proceden de reglas bien definidas *a priori*, sean ellas procedentes de un conjunto de reglas generativas, sean ellas enmarcadas dentro de una forma existente

que define la disposición de las piezas del sistema; manteniéndose en ambos casos a un nivel abstracto.

Sin embargo en algunos pasos se empieza un acercamiento hacia problemáticas espaciales o condiciones de habitabilidad; por ejemplo en el caso de los sistemas que se desarrollan en superficies pre-establecidas, se generan ciertas condiciones de envolvente, o al considerar un factor externo que afecta al sistema, se empieza a pensar en factores ambientales como la luz, el sol, o pre-existencias, como un camino o flujos de personas; con lo cual se inicia a dar un sentido más figurativo a dichos elementos de influencia y de consecuencia a las variaciones que provocan.

Estos sistemas, desarrollados completamente en el entorno digital, en algunos casos se materializan a través de la impresión 3D.

Morfologías M3: sistemas aplicados

Estas conformaciones se desarrollan a través de principios similares a las morfologías M1 y M2, pero con la gran diferencia que desde el inicio surgen con la intención de materializarse al fin de generar espacios habitables y que por lo tanto se desarrollan bajo una serie de limitantes y requisitos específicos.

Estos sistemas se realizan dentro del estudio de Elementos de la Arquitectura y son parte del proyecto *Bichos*, iniciado en el año 2013 y consolidado como línea de investigación del FabLab Monterrey en el año 2014, que fundamentado en los conceptos del “pensar y del hacer avanzados” (Frogheri, Estévez, 2016) y en la introducción del diseño computacional y la fabricación digital desde las primeras eta-

pas de la formación del diseñador, semestre tras semestre se concretiza en el diseño y la fabricación de pabellones a escala real.

Las morfologías de tipo M3 aquí presentes son los sistemas desde los cuales se generan las conformaciones de dichos pabellones y sus sistemas constructivos.

El proceso metodológico, como para las morfologías M1 y M2, desde la definición de un componente y sus posibilidades de variación, va al estudio de las posibilidades de proliferación y a la realización de una conformación final; además de completarse con su materialización, esta vez a escala real.

La diferencia es que en este caso los criterios a través de los cuales se conforman el componente y sus variaciones así como sus reglas de organización internas y las reglas de relación con los factores de influencia externos, dependen de las condicionantes del proyecto; las cuales se manifiestan de varias maneras, algunas con carácter espacial, otras estructurales y estáticas, otras más bien relacionadas con limitantes de tiempo, de espacio, de presupuesto económico o del *feedback* de las herramientas a través de las cuales se fabrican, sólo por citar algunas, así definiendo de esta manera el tamaño de los componentes, su número, el tamaño y la forma de la obra en general.

Aun así, tratándose de un sistema paramétrico- asociativo y generativo, formado como proliferación de componentes definidos a través de lenguajes formales, conserva las características de estos sistemas; así que por supuesto, siempre manteniéndose dentro del rango de las condicionantes indicadas, se desarrolla a través de procesos

de *form finding* analógicos y digitales, en un inicio en modalidad *bottom-up*, dando origen a unos primeros sistemas analógicos, similares a las morfologías M1 pero finalizadas a generar los pabellones mencionados; desde los cuales se extraen las bases para el desarrollo de un sistema digital formulado a través de un lenguaje formal a varios niveles y con algoritmos geométricos según criterios de organización que proceden o de patrones establecidos como el panel, el *close packing*, la *phyllotaxis* etc. o de procesos generativos como *L-system* u otros tipos de fractales, así como las morfologías M2. Además se considera la influencia de factores externos como elementos que afectan a la naturaleza del sistema mismo participando en su definición, siendo estos estos elementos externos en algunos casos factores ambientales o en otros hasta la presencia de personas.

Cabe subrayar que en este caso la materialización tiene un rol fundamental para el desarrollo de los sistemas, ya que al concretarse en objetos arquitectónicos reales, en todas las etapas se realizan prototipos a escala real que retroalimentan el sistema y lo redefinen hasta llegar al resultado deseado. Así, podemos bien decir que las morfologías M3 juntan en sí las de M1 y las de M2 en sus procesos de morfogénesis, y que además contienen en sus reglas de conformación los requisitos de habitabilidad propios de un objeto arquitectónico real.

Tipos de resiliencia: una primera propuesta de clasificación

Al desarrollar estas morfologías, se evidenciaron los siguientes tipos de resiliencia, basadas en las características propias de los sistemas que las definen y en sus capacidades de adaptarse al contexto.

Cabe especificar que la clasificación aquí propuesta es una primera aproximación al tema y en su primera fase de formulación, por lo cual puede ser sujeta a cambios o redefiniciones en futuras etapas de la investigación. Enseguida, se presentan los tipos de resiliencia individuados; algunas entre ellas se consideran exclusivas mientras otras se pueden combinar.

Rs1: Resiliencia singular de los componentes:

Capacidad de variación de los componentes en cuanto entidades singulares y por lo tanto independiente a su relación con los demás, debida a factores de influencia; produce cambios dentro de los rangos de su naturaleza interna, y puede producir cambios de forma, de dimensiones, de resolución, etc., que desde una base inicial, puede generar familias de componentes.

Rs2: Resiliencia relacional de los componentes o resiliencia interna del sistema:

Capacidad de variación de los componentes, debida a la relación entre los componentes mismos entre ellos y a la asociatividad del sistema, que produce variaciones en ellos variaciones de forma, dimensiones, resolución etc., que desde una base inicial, puede generar familias de componentes o elementos todos distintos de la misma familia. Se puede definir como resiliencia interna del sistema.

Rs3: Resiliencia general del sistema de componentes:

Capacidad de variación del sistema de componentes entendido como conjunto, debida a su asociatividad, causada por factores externos, que determina variaciones de forma, tamaño y dimensiones, número de elementos, resolución; la cual se puede considerar como una forma de adaptación a agentes externos.

De este tipo de resiliencia puede surgir la conformación de un edificio relacionada con limitantes propias del proyecto, como por ejemplo cuestiones de posición, pre-existencia, funciones o también en relación con factores logísticos de factibilidad, cuales tiempo, presupuesto económico, etc.

Además de los tres tipos de resiliencia individuados, que son vinculadas al concepto de sistema en cuanto tal, se individuaron otras dos categorías, que pueden ser combinadas con las tres precedentes de varias maneras: la resiliencia digital RD y la resiliencia material RM.

RD: La resiliencia digital:

La resiliencia digital, puede ser de los tres tipos Rs1, Rs2, Rs3, pero existe solo en el entorno digital. Dicha resiliencia, en algunos casos se pierde a la hora de la materialización del sistema, mientras en otros casos puede permanecer y manifestarse también en el objeto tangible.

RM: Resiliencia material:

La resiliencia material es aquella que tiene que ver con el objeto material y puede manifestarse de diferentes maneras:

RM1: Resiliencia intrínseca de la materia

Es aquella capacidad de variación del componente o del sistema en cuanto conjunto, debida a las propiedades intrínsecas del material o de los materiales de los cuales se compone el sistema. Sean estas variaciones determinadas por las propiedades internas de relación entre elementos del sistema, o sean ellas debidas a la influencia de factores externos.

RM2: Resiliencia material de la forma

El aquella capacidad del sistema, vinculada a su materialidad (material de los componentes y de sus uniones), de adaptarse a factores externos, cuales por ejemplo factores medio ambientales o sus usuarios, sólo por citar algunos, sin perder su identidad o sea manteniéndose intacta. Puede ser considerada también una resiliencia estructural, donde el objeto arquitectónico es capaz de auto-sostenerse y mantenerse firme.

Además, todas las formas de resiliencia material, pueden ser de tipo fijo o dinámico:

RMF: Resiliencia material fija

Es la que poseen aquellas conformaciones que una vez materializadas, se quedan fijas o en el mismo estado.

RMD: Resiliencia material dinámica

Son aquellas conformaciones que una vez materializadas, son capaces de reconfigurarse a través de movimientos u otros cambios de estado, debidos o a las propiedades intrínsecas de la materia o a la presencia de elementos sensibles y dispositivos electrónicos de entrada y salida en su sistema, que les permiten de recibir y elaborar datos, interactuando con el entorno.

Resultados del apartado 2.4

Por ser un trabajo vinculado con cursos y estudios de la Universidad, algunos de los cuales desarrollados durante varios semestres, esta investigación se compone de una gran cantidad de sistemas. Por lo tanto en esta sección se mostrarán algunas entre las más significati-

vas de los tres tipos individuados en el apartado de procesos metodológicos y sus tipos de resiliencia.

Morfologías M1

Las morfologías de tipo M1 surgen desde estudios de *form finding* materiales fuertemente vinculados a la forma de las piezas, a su disposición, al material y al tipo de uniones; los sistemas que surgen (Figura 2.4.1) tienen un alto nivel de asociatividad, por lo cual cualquier acción o influencia en un punto del sistema afecta a todo lo demás.

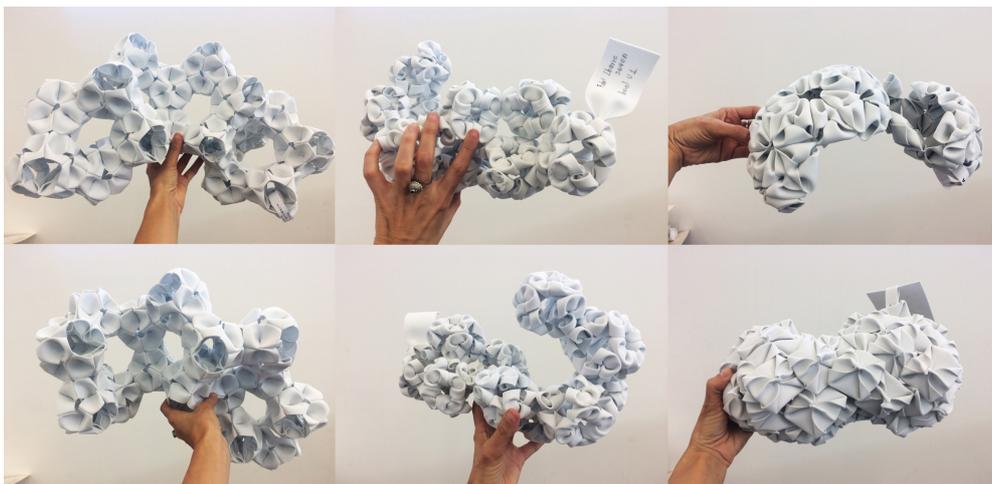


Figura 2.4.1: Daniela Frogheri, morfologías M1: proliferaciones.

En este tipo de sistemas se observaron las resiliencias de tipo R1, R2 y R3, además de las RM1 y RM3; En cuanto a la condición fija o dinámica de los sistemas, por la flexibilidad del material utilizado, en la mayoría de los sistemas se manifestó también la resiliencia dinámica RMD. Se trata de conformaciones que tienen una fuerte capacidad de deformarse y de volver a su estado inicial, por lo cual son muy útiles para entender el comportamiento de la materia y de los

tipos de uniones entre elementos; sin embargo, muchas de las propiedades que poseen son debidas a la escala y a la flexibilidad del *foamy* utilizado; por lo tanto a la hora de quererlas traducir en objetos arquitectónicos reales casi siempre se tienen que re-geometrizarse o congelar en uno de sus estados, pasando de la RMD a la RMF.

Morfologías M2

Las morfologías M2, sea que surjan de procesos generativos (Figuras 2.4.2 y 2.4.3), sea que proliferen en entornos preestablecidos (Figuras 2.4.4 y 2.4.5), poseen las resiliencias de tipo Rs1, Rs2, Rs3 y RD; sus materializaciones impresas en 3D poseen RM1 y RMF, aun si algunas, en los sistemas realizados, por las dimensiones y por el material de impresión, perdieron esta última, rompiéndose o deteriorándose (Figuras 2.4.6, 2.4.7, 2.4.8,y 2.4.9).

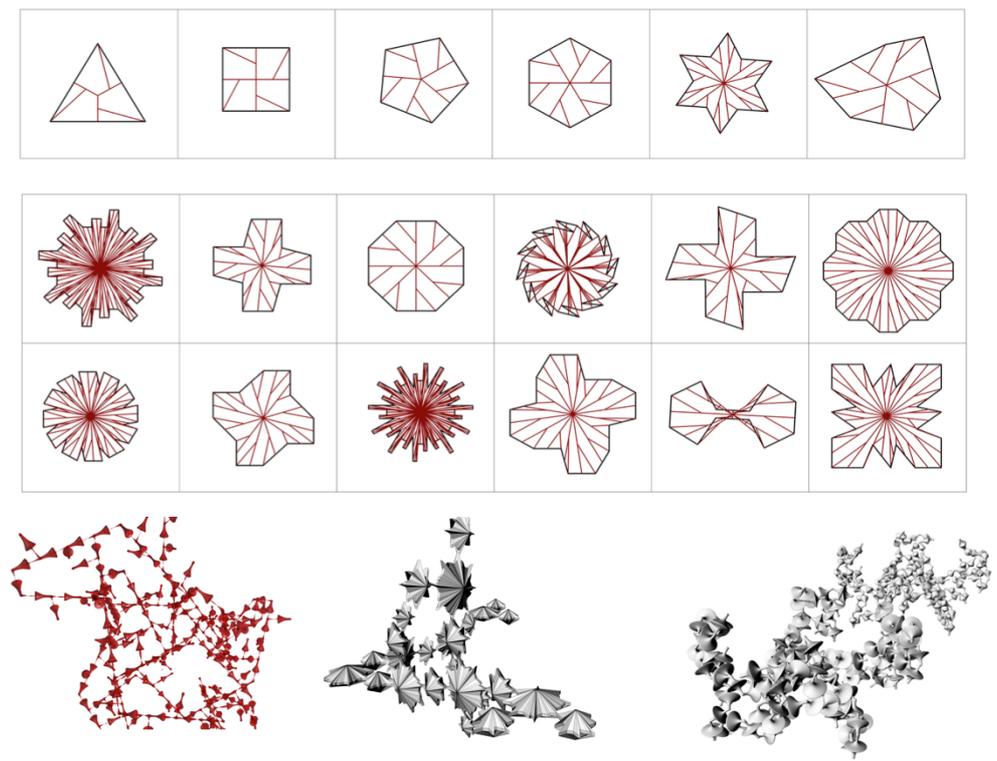


Figura 2.4.2: Daniela Frogheri, morfologías M2 generadas con *L-System*.



Figura 2.4.3: Daniela Frogheri, impresión 3D de M2 generadas con *LSystem*.

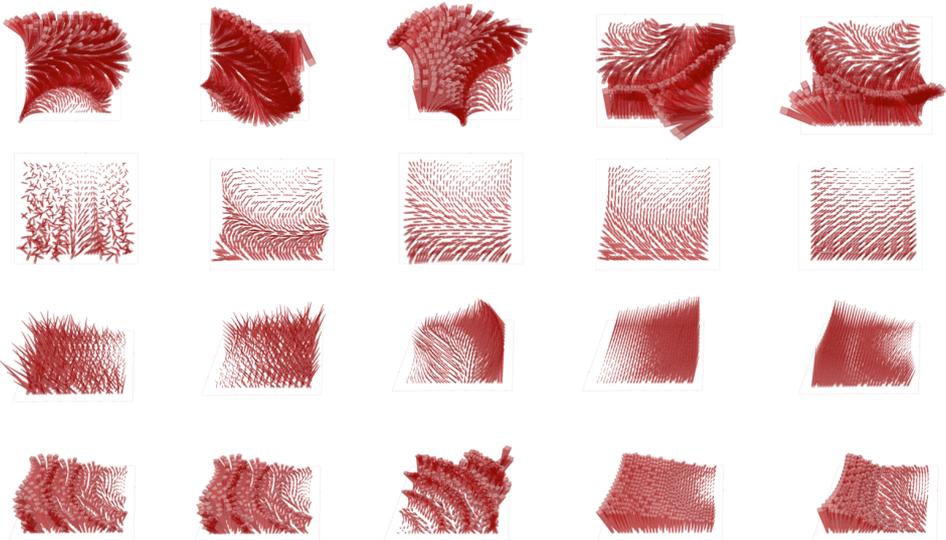


Figura 2.4.4: Daniela Frogheri, morfologías M2 proliferadas en teselaciones.



Figura 2.4.5: Daniela Frogheri, impresión 3D de M2 proliferadas en teselaciones.

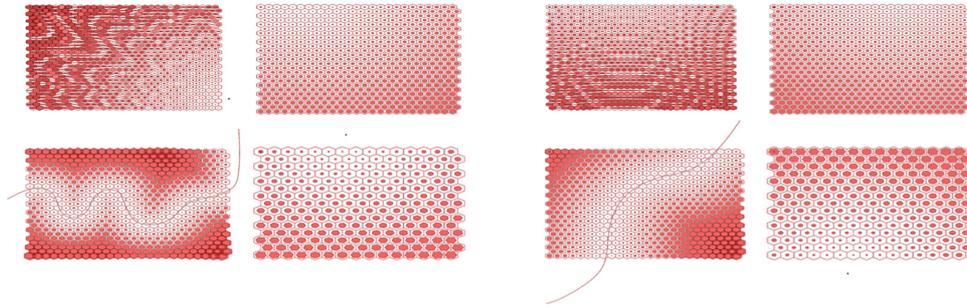


Figura 2.4.6: Daniela Frogheri, morfologías M2 proliferadas en mallas.



Figura 2.4.7: Daniela Frogheri, morfologías M2 proliferadas en mallas.

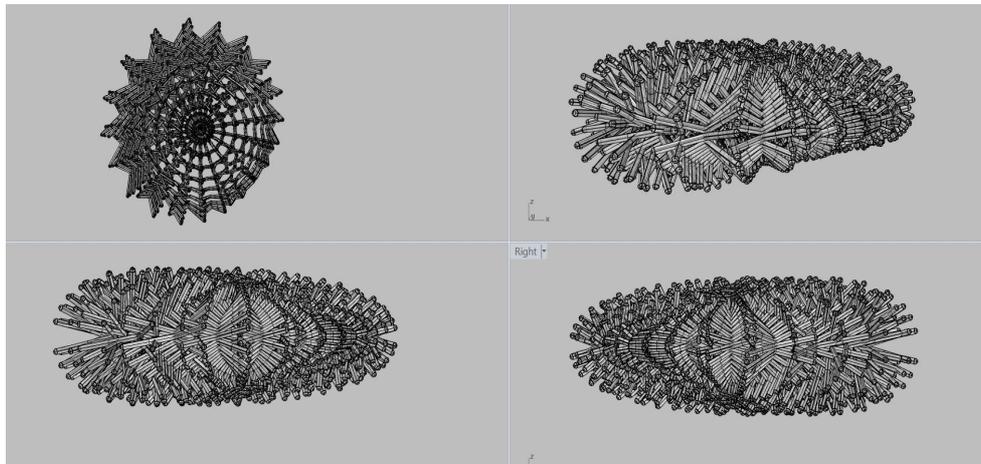


Figura 2.4.8: Daniela Frogheri, morfologías M2 proliferadas en superficies.



Figura 2.4.9: Daniela Frogheri, impresión 3D de M2 proliferadas en superficies.

Morfologías M3

Las Morfologías M3 son las que dieron origen a los pabellones de la familia *Bichos* (Figura 2.4.10). Dichas estructuras poseen las resiliencias de tipo Rs1, Rs2, Rs3 y la RD en su fase de desarrollo digital (Figuras 2.4.11 y 2.4.12) y en general las resiliencias materiales RM1, RM2 y RMF.



Figura 2.4.10: Daniela Frogheri, morfologías M3: pabellones de la familia *Bichos*.

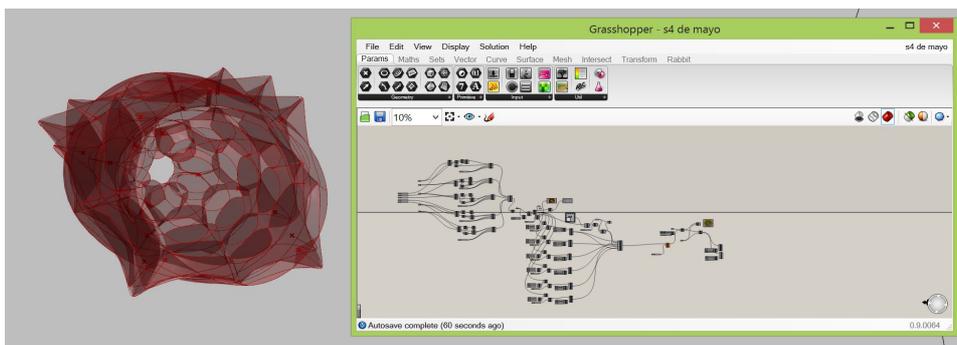


Figura 2.4.11: Daniela Frogheri, morfologías M3: sistema digital del *Bicho 6*.

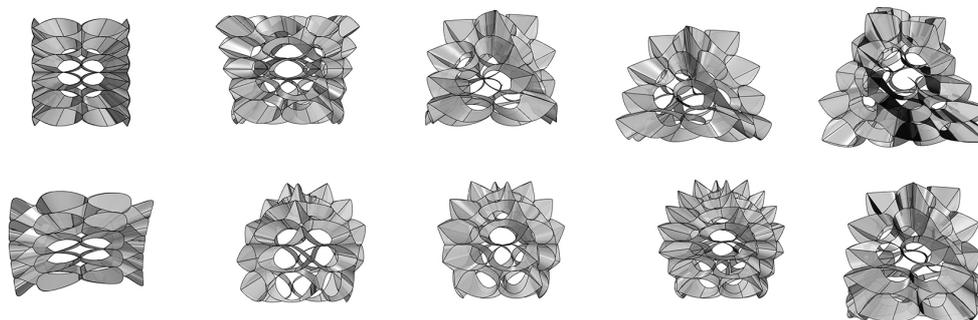


Figura 2.4.12: Daniela Frogheri, morfologías M3: Rs3 y RD del *Bicho 6* en fase digital.

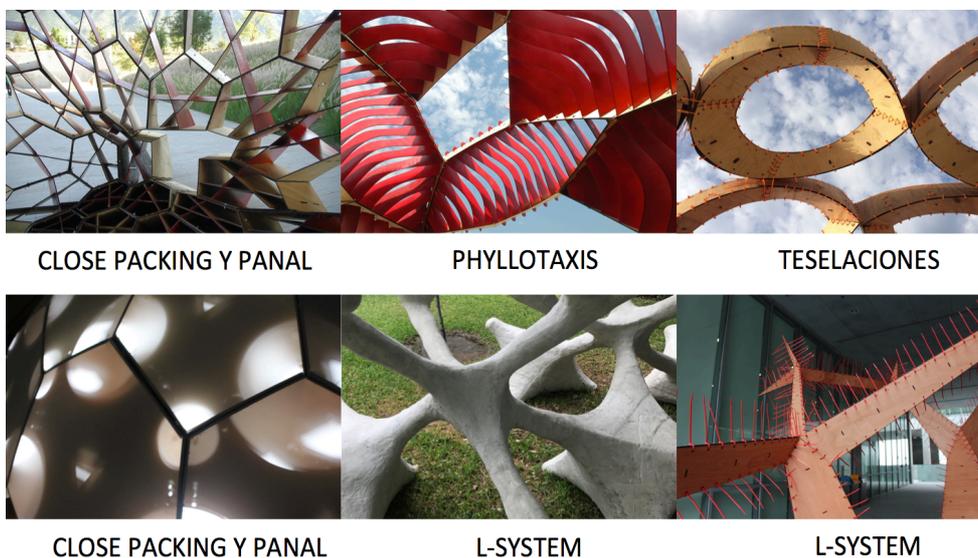


Figura 2.4.13: Daniela Frogheri, morfologías M3: criterios de organización.

Entre ellas, el pabellón *Bicho 7*, sensible gracias a sensores e dispositivos electrónicos, reacciona a la presencia de personas con cambios de forma y de colores, por lo cual posee también la resiliencia RMD (Figura 2.4.14).

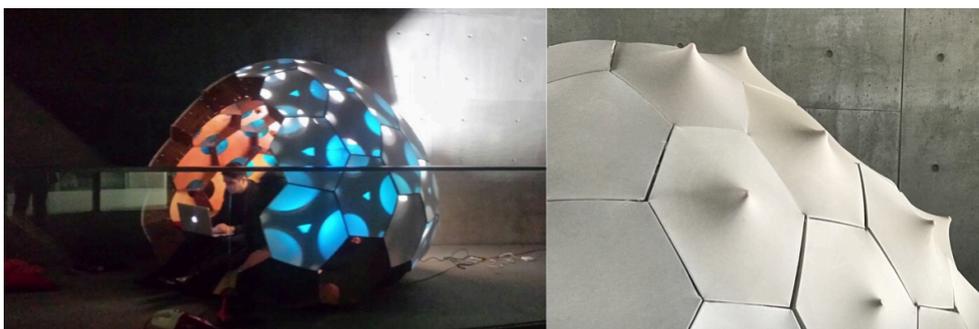


Figura 2.4.14: Daniela Frogheri, morfologías M3: RMD del *Bicho 7*.

Conclusiones del apartado 2.4

Uno de los retos fundamentales del trabajo aquí presentado fue vincular el concepto de resiliencia en su sentido más básico a las propiedades de los sistemas paramétricos asociativos y al de adaptación de los seres vivos; desde lo cual surgen algunos puntos a considerar sea como argumentos de reflexión para nuevas etapas de la investigación, sea ya como factores para el desarrollo de conformaciones y objetos arquitectónicos capaces de estar al paso con nuestro presente.

El primero es que si es verdad que cada vez más interpretamos lo existente y elaboramos nuestros artefactos tomando en cuenta la capacidad de conexión de las cosas y su capacidad de adaptación, también es verdad que en el campo del diseño solemos pensar en dicha adaptación de manera más parecida a las propiedades de los materiales inertes (Wagensberg, 1999), que a la que caracteriza los seres vivos, considerando más el potencial de variación que su capacidad de mantener su identidad.

Sin embargo, los objetos así como los concebimos hoy en día, por ser sistemas y gracias a los alcances de la tecnología, conceptualmente tienden cada vez más a parecerse a organismos que a sim-

ples pedazos de materia; lo cual es fundamental para poderse relacionar con las características y las exigencias de las problemáticas del presente.

Por otro lado, está la cuestión del pasaje desde lo digital a la materia: solemos dominar los sistemas paramétricos en el entorno digital, pero a la hora de materializarlos se vuelven casi todos fijos y congelados en un estado, que es sólo uno de los infinitos posibles de los que puede generar el sistema; lo cual como hemos visto posee cierto tipo de resiliencia, pero casi nunca aquel dinamismo necesario para estar al alcance de las problemáticas espaciales que pretende resolver.

Otro punto consiste en evidenciar la riqueza del concepto de resiliencia y la manera en que se puede manifestar en los sistemas desarrollados, sobre todo en su vinculación con la forma y con sus propiedades intrínsecas, cosa que en general no se suele estudiar de esta manera, sino con un enfoque más dirigido al potencial de variación en cuanto tal; lo cual nos muestra una valiosa aplicación de nuestra actual capacidad de dominar los procesos de generación de la forma, que quizás todavía no estamos aprovechando en pleno.

Por último, cabe subrayar que el siguiente trabajo es la primera etapa de una investigación donde se exploraron sólo determinados tipos de sistemas y se planteó una primera propuesta de clasificación de sus tipos de resiliencia; lo cual, en parte por ser una primera aproximación al tema y en parte debido a su carácter taxonómico, es susceptible a reajustes y reformulaciones; por lo tanto se planea seguir con la investigación, con nuevos avances y evoluciones en sus desarrollos futuros.

APARTADO 2.5¹⁶

Transynaesthesia: mapa y visualización de la sinestesia humana para pensar y hacer artefactos multisensoriales

Introducción del apartado 2.5

TransSynaesthesia es un proyecto de investigación que nace desde la idea de utilizar la sinestesia humana para pensar y hacer cosas. Si bien debe quedar claro desde el principio de estas líneas que este trabajo no quiere ser un estudio sobre la sinestesia en cuanto tal, ni pretende ser una herramienta para explicarla de manera científica.

Existe hoy en día una vasta literatura al respecto, compuesta de conocimientos consolidados y de cuestiones todavía no resueltas que se presentan en forma de preguntas a debatir y a investigar. Sin embargo, la aproximación de dichos estudios es generalmente dirigida a la comprensión del fenómeno en sí, en sus causas y efectos, y en los patrones experimentados por las personas sinestésicas, y su realización requiere conocimientos y experiencia en el campo de la neurociencia y de la psicología.

¹⁶ **Este apartado se ha recogido publicado en:** Frogheri, D.; Estévez, A. T. (2016). "TransSynaesthesia: -Mapping, visualizing and materializing human synaesthesia to think and make multisensorial things". En AA.VV., *Blucher Design Proceedings*, v. 3, n. 1. São Paulo: Blucher, pp. 824-830. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/despro-sigradi2016-752.

Presentado en el foro de alto impacto "SIGraDI, XX Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital"; Buenos Aires, Argentina, Noviembre 2016. Indexado en CumInCAD.

En este escrito, lo que se pretende es fomentar el entendimiento y el uso de la sinestesia como elemento propulsor de pensamientos y procesos creativos capaces de aprovechar al máximo las capas multisensoriales que caracterizan nuestra época.

Hoy en día nos encontramos en un momento histórico donde la relación entre individuo y sociedad adquiere una complejidad hasta ahora nunca experimentada, caracterizada por el desarrollo extremo del individualismo, sea por el desarrollo, también extremo, de las conexiones entre individuos.

Estos dos aspectos aparentemente opuestos conviven y se complementan, construyendo realidades cada vez más personales y personalizables, pero también cada vez más reconfigurables y multifuncionales, compuestas de elementos tangibles e intangibles interconectados.

En este panorama, donde las capacidades singulares de las personas y de las cosas adquieren más valor y potencial al conectarse con los y lo demás, y donde los objetos materiales que pensamos, hacemos y utilizamos son cada vez más multisensoriales, se empezó a pensar en la sinestesia humana como recurso natural para comprender e idear elementos complejos.

El término sinestesia, que significa unión de sentidos, se utiliza en varios campos, entre otros, en retórica, psicología y neurología. En este *paper* se tomará en cuenta principalmente su acepción de fenómeno sensorial (Figura 2.5.1).

Fue Francis Galton el primero en reportar la condición llamada sinestesia, el año 1880. Él notó que un cierto número de personas, com-

pletamente normales para todo lo demás, parecían tener la peculiaridad de experimentar sensaciones de múltiples modalidades en respuesta a la estimulación de una sola modalidad. Por ejemplo, las notas musicales podían evocar diferentes colores: el Do puede ser rojo y el Fa azul, o el número 5 impreso *aparece* siempre verde, mientras el 2 aparece rojo. La evidencias de los estudios recientes sugieren que la sinestesia es un verdadero fenómeno sensorial, y no una asociación de memoria de alto nivel (Ramachandran, Hubbard, 2001a, 2001b, 2003).

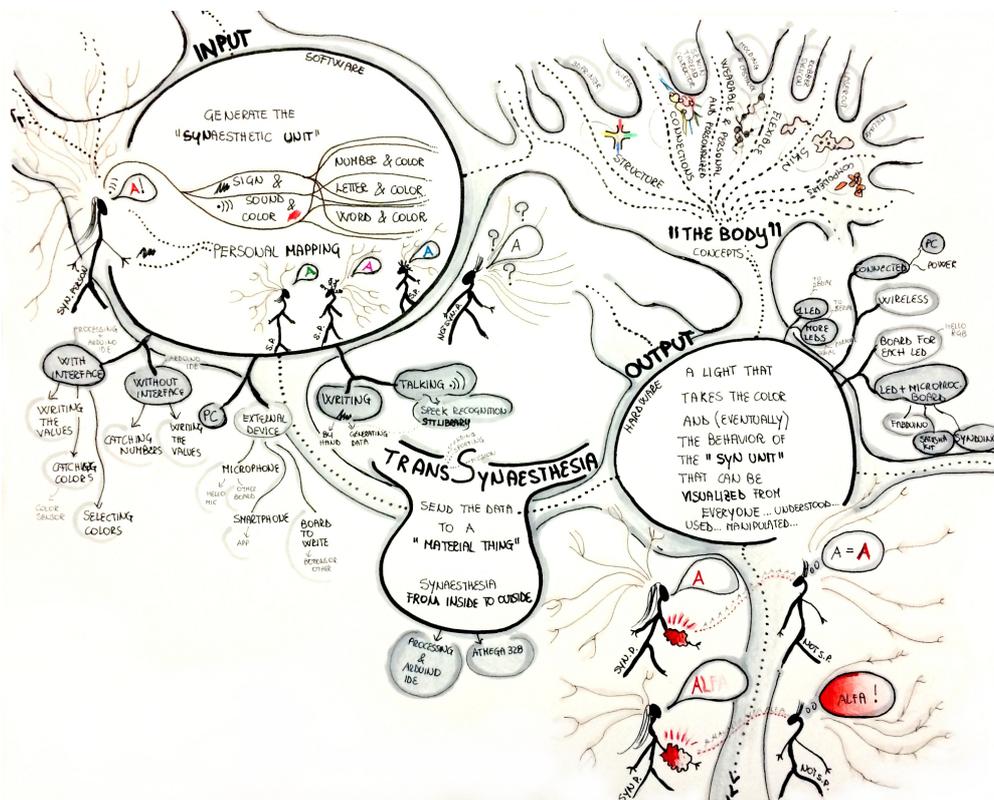


Figura 2.5.1: Daniela Frogheri, esquema de la estructura general de la investigación.

Existen una gran variedad de tipos de sinestesia, algunas más frecuentes que otras y con diferentes intensidades, cuya clasificación todavía no está cerrada. Sin embargo todas tienen algo en común y es lo de provocar en las personas sinestésicas percepciones sensoriales múltiples entre los varios sentidos, que se unen entre ellos, convirtiéndose en una cosa sola, más compleja que la suma entre los mismos considerados por separado.

El estudio de la sinestesia es un terreno muy extenso donde existen todavía muchas cuestiones no resueltas y varias discrepancias, por supuesto fundamentales para el conocimiento de la sinestesia en sí, pero de escasa relevancia para la presente investigación. Por lo tanto, para desarrollar el trabajo se concentró la atención sobre unos temas puntuales que emergen de los estudios, y que fueron el motor de la investigación.

El primero es que, aunque se dice que sólo un cierto porcentaje de la población mundial es sinestésica, se debaten ideas como la de que la sinestesia sea propia de todos los seres humanos hasta una cierta edad, y que se mantiene sólo en algunos, o que estando presente en todos se manifiesta de manera más o menos pronunciada según la persona, supuestamente debido a una serie de factores que van desde la presencia de hiperconexiones neuronales (Hubbard, Ramachandran, 2003; Hubbard et al., 2005a; Ramachandran, Hubbard, 2001a, 2001b) hasta la influencia de los medios de comunicación y los tipos de tecnología más o menos multisensorial (McLuhan, 1962/1985).

El segundo es que se ha podido averiguar una fuerte conexión entre la sinestesia y la creatividad: muchos artistas, pertenecientes a diferentes disciplinas, periodos históricos y lugares, fueron y son sines-

tésicos (Ramachandran, Hubbard, 2001), entre ellos innumerables ejemplos famosos.

Desde los estudios, surge también la cuestión sobre la existencia y la posible intersección entre factores innatos y adquiridos de la sinestesia: argumento entre los más vivos de las investigaciones actuales (Ramachandran, Hubbard, 2001)

De estas cuestiones emerge en primera estancia que la multiplicidad sensorial existe, es una característica del ser humano, experimentada de manera espontánea por algunos y potencialmente comprensible para todos. Sin embargo, por la naturaleza de sus manifestaciones, tiende a ser algo íntimamente personal, inmaterial y no compartido en cuanto tal, quedándose en la esfera individual. Además, la manera actual y común de concebir los sentidos y las percepciones sensoriales es generalmente reductiva, ya que se suelen considerar como entidades separadas. Por otro lado se evidencia que la idea de fomentar la creatividad a través de la sinestesia no es un concepto forzado, ya que tiene una larga gama de precedentes en el mundo del arte, pero que han pasado y pasan hasta ahora sin demasiado conocimiento de causa de dicha sinestesia.

Nuestro presente multidimensional y multisensorial, la naturaleza de los actuales medios de comunicación y los avances de la tecnología, así como predijo Marshall McLuhan hace varias décadas, nos obligan a enfrentarnos con una realidad, donde la percepción de lo existente y la elaboración de lo nuevo involucran todos los sentidos, a menudo en conjunto, y por lo tanto con la necesidad de conocer y dominar la multiplicidad.

La sinestesia, vista como fuente directa de conexión entre entidades de diferente naturaleza, se convierte en un recurso para generar asociaciones complejas que se pueden utilizar para interpretar lo existente o como nuevas herramientas de diseño.

La presente investigación, llamada TransSynaesthesia, donde *trans* significa a la vez *transmitir* e ir más allá, pretende fomentar un mayor conocimiento de la sinestesia, sacándola desde la esfera puramente individual e inmaterial hacia una dimensión compartida y material (Figura 2.5.1).

Hasta la fecha, el trabajo consistió en desarrollar una herramienta para mapear digitalmente la sinestesia personal, convirtiendo las percepciones en datos, y visualizarla. Y una segunda cuestión fue experimentar algunas posibilidades de uso, gracias a la realización de dispositivos materiales fabricados digitalmente. Se considera así este resultado como la primera fase de la investigación, donde se ha experimentado con un tipo específico de sinestesia, y donde la visualización y materialización se realizó con luz.

La idea es extender el programa de mapeo a otros tipos de sinestesia y estudiar maneras más avanzadas para visualizarla y transmitirla al mundo tangible. No sólo para aplicarla al diseño de dispositivos específicos, sino para utilizarla como una nueva herramienta, con la cual tanto las personas sinestésicas como las no-sinestésicas puedan comprender, dominar y generar entidades multisensoriales. En este *paper* se presentarán y discutirán los pasos realizados y los resultados obtenidos hasta la fecha, evidenciando puntos fuertes y áreas de oportunidad para el futuro.

Procesos metodológicos del apartado 2.5

El reto principal del trabajo fue desarrollar un dispositivo capaz de generar un input sinestésico digital y transmitirlo a un dispositivo material a través del cual se pudiera visualizar la sinestesia, como asociación o en términos de comportamiento.

El trabajo nació en el 2015 inicialmente como proyecto del Fab Academy, curso que pertenece al contexto de los Fab Labs y del concepto del *How to make (almost) anything* ideado por Neil Gershenfeld. Todo ello caracterizado por un fuerte componente experimental y la intención de fomentar la innovación y el desarrollo de tecnologías avanzadas a través el diseño integral de dispositivos y objetos materiales, explorando técnicas de programación y fabricación, llevando al límite la imaginación y la creatividad personal.

En parte por la estructura del Fab Academy, en parte por la naturaleza del proyecto, el trabajo se organizó según un esquema de *input-output* donde las percepciones sinestésicas se mapeaban en el entorno digital para convertirse en datos de entrada transmitidos en salida a un dispositivo material a través de un *Arduino* u otro PCB, que permitía su visualización gracias a leds RGB y la exploración de sus posibilidades de uso gracias a la fabricación digital objetos materiales.

Si en un inicio la idea era la de desarrollar una herramienta capaz de mapear cualquier tipo de sinestesia existente, por cuestiones logísticas se decidió delimitar el campo de trabajo seleccionando la percepción sensorial que asocia números, letras del alfabeto y palabras a colores a través de la sinestesia grafema-color y fonema-color. Tal selección fue motivada por ser dichas formas de sinestesia las for-

mas más comunes y más documentadas, lo que permitió acceder de manera directa a personas sinestésicas para mapear y visualizar sus percepciones sensoriales.

La sinestesia que asocia números, letras del alfabeto y palabras a colores es en general de tipo unilateral: desde un grafema o un fonema mueve hacia un color. Al escribir, leer o pronunciar un número, una letra o una palabra, la persona sinestésica percibe también su color, que será siempre el mismo, mientras varía de persona a persona. Otra variación subjetiva es lo que se puede llamar *comportamiento* del color, que se puede presentar fijo y definido, difuminado o móvil.

En la primera etapa se realizaron las herramientas para el mapeado y la visualización de dichas características a través de códigos e interfaces realizados con *Processing*, *Arduino IDE*, un *Arduino* físico y un led RGB. Se desarrollaron varios códigos, basados en los tipos de correspondencias entre grafema o sonido y color. Cada uno de los cuales fue la evolución del precedente, lo cual implicó una primera catalogación y organización de las manifestaciones sinestésicas según su nivel de sencillez o complejidad, desde lo más específico hasta un nivel cada vez más elevado de flexibilidad y con posibilidad de variación, que permitieron obtener al final un único código abierto capaz de expresarlas todas.

La segunda etapa se enfocó en el desarrollo de los dispositivos físicos para la visualización de los datos de salida: diseño y fabricación de una placa PCB basada en los principios del *Arduino* y de los elementos para su conexión con los leds, y con la construcción de dos tipos de cuerpo, fabricados digitalmente y conectados con los inputs

sinestésicos a través de los leds RGB. El primero en forma de piel flexible realizada con moldes y corte láser, y el otro configurado como red, cuyos componentes fueron ruteados e impresos en 3D.

Resultados del apartado 2.5

Input y primera materialización

Desde el inicio del trabajo fue muy claro que, para poder pensarse la utilización de la sinestesia como recurso para idear y hacer cosas multisensoriales, antes que nada era necesario hacer más entendible para todos el concepto de sensación múltiple, experimentado por los sinestésicos y generalmente incomprensible por los demás. Siendo la parte más complicada a explicar aquella condición donde la estimulación de una modalidad sensorial causa experiencias en una segunda modalidad sensorial no estimulada, se decidió hacer un dispositivo a través del cual se pudiera de cierta manera simular la experimentación del fenómeno.

En el caso de la sinestesia grafema-color, al leer un número, una letra o una palabra, la persona sinestésica percibe un color (generalmente dice que lo ve). De la misma manera, cuando se trata de sinestesia de tipo fonema-color, el color se percibe al escuchar el número, la letra o la palabra. El estímulo inicial por lo tanto en estos casos es el signo escrito o el sonido, mientras el no estimulado, es la visión del color que corresponde. La sensación múltiple es una unidad compuesta por dos elementos, grafema+color o fonema+color, provocada por el primero, en orden.

Si la persona sinestésica al leer, escribir o escuchar, procesa de manera natural un color en su mente, se pensó que asociando un texto escrito o un sonido a un color que se pudiera visualizar, por

ejemplo a través de una luz capaz de cambiar de tono, se simularía dicha sensación de manera artificial. En base a estas consideraciones, se formuló el concepto de Unidad Sinestésica, como entidad compuesta de dos modalidades sensoriales sencillas, que pasado al entorno digital y conectado con un led RGB a través de *Arduino*, permitió la simulación de las sensaciones múltiples grafema-color y fonema-color.

Para poder desarrollar el trabajo se pasó desde lo particular a lo más general: en un inicio se catalogaron y mapearon las sensaciones múltiples de una persona sinestésica, gradualmente desde sencillas a complejas, considerando como sencillo lo fijo y complejo lo variable. La persona considerada asocia grafemas y fonemas a colores, así que al leer, escribir o pronunciar un número, una letra o una palabra, visualiza colores. En ambos casos sus percepciones se manifiestan con tres tipos de variaciones: los colores pueden ser fijos, dinámicos degradados desde un tono hacia el blanco, o dinámicos en variación entre dos tonos distintos.

Basado en dichas percepciones y su organización se escribieron una serie de códigos con *Arduino IDE* y *Processing*. Cada uno de los cuales fue la evolución del precedente con la introducción de más posibilidades de variación y flexibilidad, pasando por lo tanto desde el estado de representación específica de la sinestesia de una persona singular, a la posibilidad de mapear la sinestesia de cualquier persona, o generar asociaciones de manera intencional y visualizarlas a través del led RGB.

En el caso grafema-color-fijo, la Unidad Sinestésica digital se compuso por la asociación de un carácter alfanumérico, que en términos

de códigos se presentan como variables de tipo *int* o *char*, según se trate de números o letras, con una función de color en modalidad RGB, cuyos valores una vez mapeados, se quedaban fijos. Para el caso grafema-color-oscilante entre tonos, se modificaron simplemente los valores de la función de color de constantes a variables, asignando los tonos correspondientes. Estas dos primeras versiones sirvieron para simular las sensaciones múltiples de los colores de los números y de las letras del alfabeto (Figura 2.5.2).

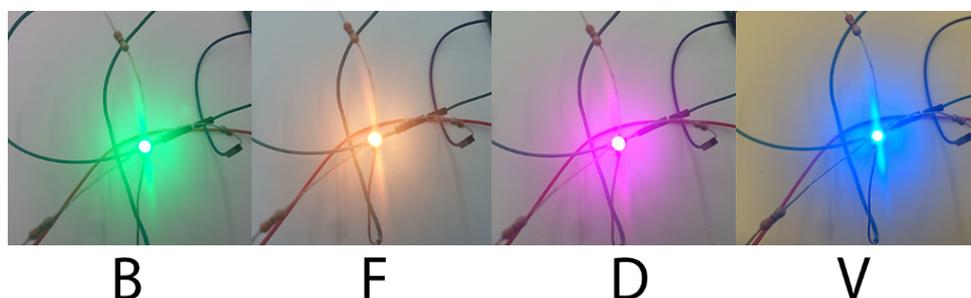


Figura 2.5.2: Daniela Frogheri, visualización con led RGB de la simulación de la sensación múltiple grafema-color de letras del alfabeto mapeads.

En el caso de las palabras, la sensación experimentada por la persona sinestésica tomada en cuenta es más compleja: la palabra adquiere en un inicio el color de la primera letra, para después degradar de manera dinámica hacia el blanco. En este caso la Unidad Sinestésica conectaba una variable de tipo *string* con la función de color en modalidad RGB, cuyos valores eran unas variables compuestas a su vez de funciones para controlar el paso desde el tono inicial hacia el blanco, a través de operaciones lógicas que vinculaban dicho cambio de tono de manera proporcional con la cantidad de letras de la palabra, simulando no sólo los colores sino su comportamiento dinámico (Figura 2.5.3).

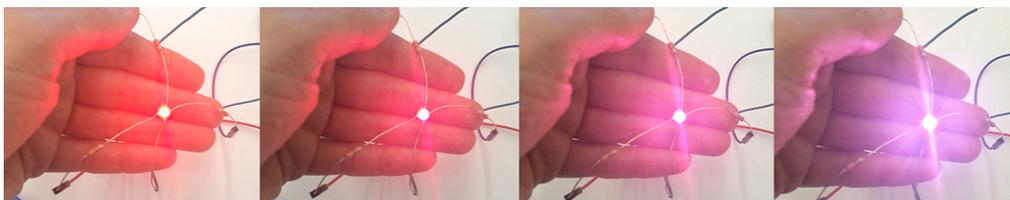


Figura 2.5.3: Daniela Frogheri, visualización con led RGB de la simulación de la sensación múltiple grafema-color de la palabra *alfa* mapeada.

En estos primeros tres casos, el usuario mapea sus asociaciones, generando sus unidades sinestésicas escribiendo directamente en los códigos. Después del primer mapeo, al escribir el número o la letra, un led RGB conectado a través de un *Arduino*, se enciende y adquiere el color correspondiente sea este fijo o variable, experimentando por lo tanto la sensación de provocar un color a través de un grafema.

La dificultad causada por tener que generar las Unidades Sinestésicas iniciales escribiendo en el código, evidenció la necesidad de desarrollar una interfaz para que el usuario pudiera mapear su sinestesia de manera más inmediata. A tal fin se realizó una interfaz, en *Processing* con *Arduino*, que permitía mapear los colores asociados a un número o a una letra seleccionándolos desde una imagen, sin tener que buscar sus valores RGB. Así como en las primeras versiones, utilizando la misma estructura, después del mapeo inicial, al escribir el usuario números, letras o palabras, provoca el encendido del led, su tono y comportamiento estático o variable (Figura 2.5.4).

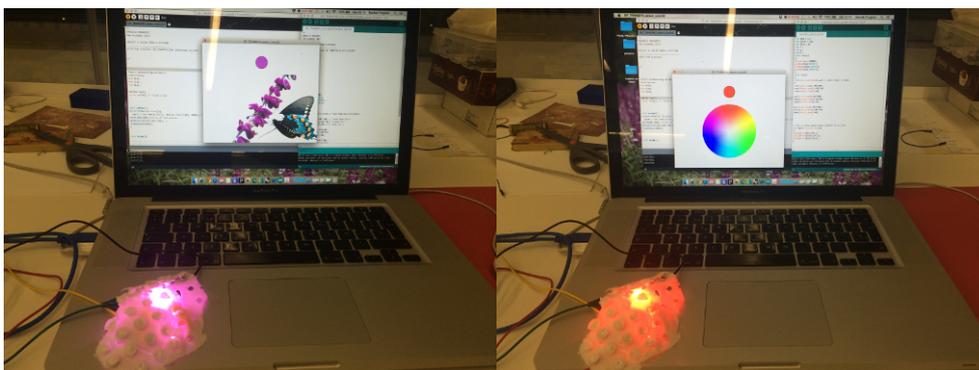


Figura 2.5.4: Daniela Frogheri, mapeo con interfaz.

Para los casos fonema-color, la intención desde el inicio fue de desarrollar un dispositivo a través del cual el usuario, después del mapeo, al pronunciar una letra o una palabra provocara el tono correspondiente del led RGB en tiempo real.

Al principio se pensó en generar la Unidad Sinestésica utilizando un micrófono y un sensor de voz, y mapeando las frecuencias para asociarlas después a funciones de color a través de los códigos precedentes. Sin embargo, desde las primeras investigaciones sobre el tema, emergió que, discriminar y mapear fonemas usando frecuencias, y además hacerlo en tiempo real, era algo mucho más complicado que digitar un carácter alfanumérico. Esto requería tiempos y conocimientos que no entraban en la investigación de aquella etapa. Así se entendió que lo que se necesitaba, más que un sistema de grabación, se acercaba más al reconocimiento de voz.

De esta última consideración surgió la idea de utilizar una librería de reconocimiento de voz existente, escrita en *Processing*, que además de recibir sonidos en tiempo real los convertía en textos que se conectaban con los códigos ya realizados para los casos grafema-color.

Lo que se obtuvo fue muy cercano a lo que se buscaba: un dispositivo con el cual el usuario, a través de la estimulación de una modalidad, fuese esta escribir o pronunciar un número, una letra o una palabra, provocaba otra modalidad no estimulada, o sea la manifestación del color de aquel número, letra o palabra. Esta vez no como manifestación perceptiva interior, inmaterial y personal, sino externa, material y divisible entre más de una persona (Figura 2.5.5).

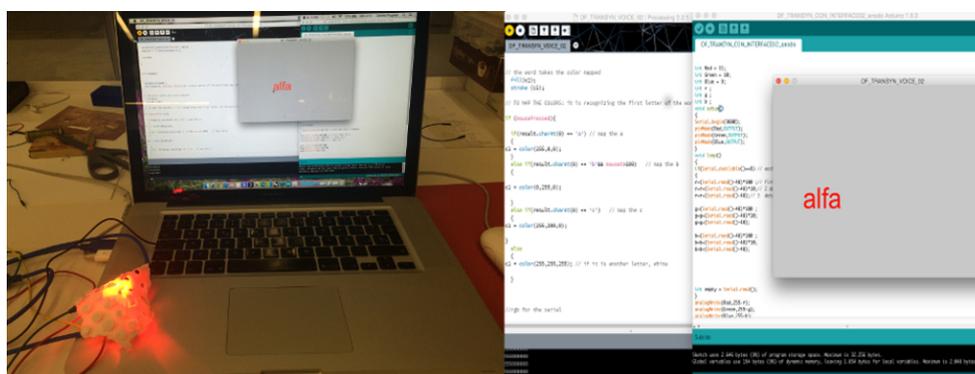


Figura 2.5.5: Daniela Frogheri, simulación de la sinestesia fonema/color.

Output y retroalimentación

La visualización del color a través del led RGD fue el primer paso hacia el pasaje desde lo inmaterial a la materia y la generación de un dispositivo de salida. Dicho pasaje se realizó en un inicio a través de un *Arduino*, conectado con cables a un simple led. Sucesivamente se pasó a materializaciones más elaboradas, una en forma de piel y la otra en forma de red de elementos conectados.

Dichos objetos, más que para cumplir funciones específicas, fueron pensados con la intención de experimentar las sensaciones de color de números, letras y palabras, tanto fijas como dinámicas en conformaciones materiales.

Sin embargo, justo por su conexión con la luz, terminaron por parecerse a lámparas flexibles, sencillas y compuestas.

En el primer estudio, se fabricaron digitalmente varias opciones de pieles flexibles de silicón, de diferentes grosores y con varias texturas, realizadas con moldes ruteados y grabados con láser, conectadas con cables al *Arduino* y a un único led RGB. (Figura 2.5.6).



Figura 2.5.6: Daniela Frogheri, estudio de materialización: pieles de silicón.

Para la segunda materialización se realizó una red compuesta por pequeños elementos, fabricados digitalmente y conectados entre ellos a través de hilos conductores. Cada uno de ellos consistía en una pequeña placa PCB fabricada con una *CNC milling machine* (Figura 2.5.7).



Figura 2.5.7: Daniela Frogheri, Estudio de materialización de tipo red: armado de elementos

Y los componentes electrónicos, basados en la estructura del *Arduino*, permitieron la transmisión de los datos a varios leds RGB,

insertados cada uno en un cuerpo impreso en 3D, estos últimos también parte de la red (Figura 2.5.8).



Figura 2.5.8: Daniela Frogheri, estudio de materialización: red de elementos con leds RGB.

En ambos casos las luces se encendían y cambiaban de color al escribir o pronunciar números, letras o palabras, de manera fija o variable según el mapeo realizado.

Así, además de los resultados físicos de dichas materializaciones, la parte más interesante de esta etapa de la investigación fue la retroalimentación debida a las conformaciones físicas de los objetos, que en algunos ejemplos modificaron los patrones de comportamiento programados desde los códigos, generando variaciones en relación a lo que se había mapeado.

En el caso de la red, los varios leds conectados en serie recibieron la corriente con variaciones de intensidad y en tiempos diferentes, según la posición y la longitud de la conexión. Y en el caso de la visualización de colores fijos, los leds, como imaginado, tomaron el mismo tono, pero con diferente intensidad.

Mientras que en el caso de las visualizaciones dinámicas, donde al escribir o pronunciar una palabra la luz se degradaba desde el tono inicial hacia el blanco, dicha variación no pasó de manera sincróni-

zada como era de esperar, sino en tiempos diferentes en cada led (Figura 2.5.9), provocando un degradado mucho más complejo del que pretendía simular la percepción sinestésica.

Esta retroalimentación de la materia, que si bien considerada bajo el punto de vista de la simulación de una sensación sinestésica determinada es un error técnico, vista a la luz de la intención de propulsar la comprensión de las sensaciones múltiples al fin de generar ideas y artefactos multisensoriales, fue la primera demostración de que el entendimiento de la sinestesia puede realmente ser la base para entender, idear y hacer cosas multisensoriales, ya que sin alejarse del concepto de lo que se quería simular, yendo más allá de la representación fiel del fenómeno, lo enriqueció, suscitando nuevas posibilidades de asociación, metáforas e ideas.

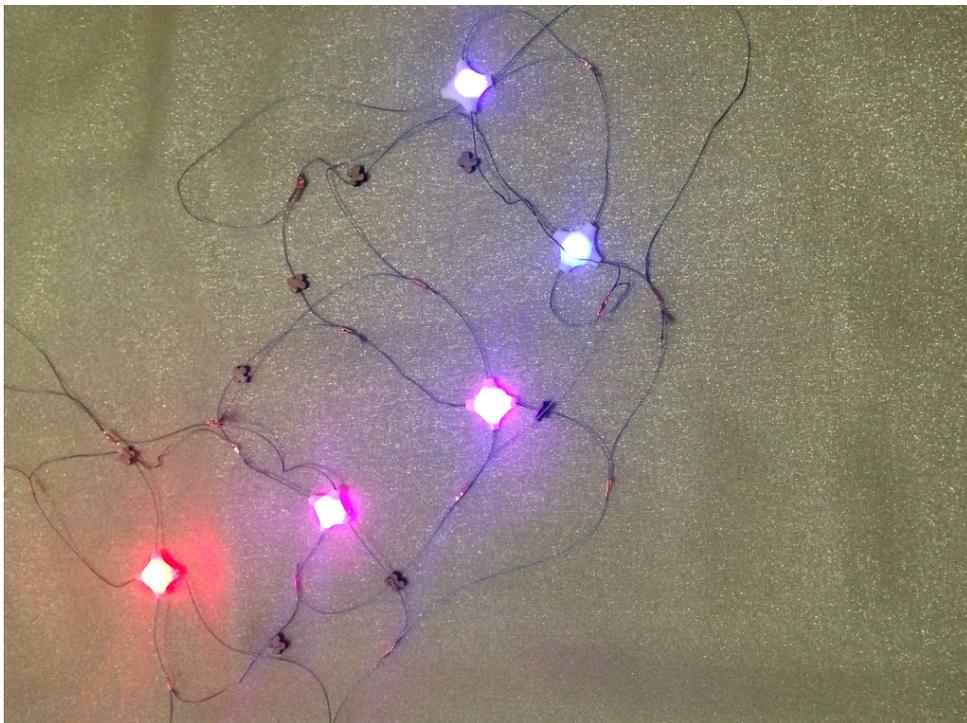


Figura 2.5.9: Daniela Frogheri, variación de tonos no sincronizada: leds RGB conectados en serie.

Conclusiones del apartado 2.5

Lejos de ser una mera curiosidad, la sinestesia puede proporcionar una ventana a la percepción, al pensamiento y al lenguaje (Ramachandran, Hubbard, 2001). Y uno de los retos principales de la investigación fue hacer que la sinestesia no sólo se pudiera de cierta manera trasladar desde adentro hacia fuera, y al mundo de las cosas materiales, sino que además se pudiera compartir.

Con el desarrollo de los códigos y con su conexión con el led RGB se cumplió el primer paso hacia dichos objetivos, ya que el proceso de provocar el encendido y la toma de color de la luz con el acto de escribir o hablar ya no es algo interno al individuo, sino una sucesión de acciones externas, que, para poderse realizar necesita elementos materiales, tales como ordenador, microprocesadores, componentes electrónicos, leds, etc. Y tales acciones pueden ser realizadas de manera privada o en público: el individuo que escribe es uno, pero el color puede ser visualizado por más de una persona al mismo tiempo.

Estos pasos desde lo interior personal a lo exterior compartido, desde lo invisible a lo visible, y desde lo inmaterial a la materia, a pesar del riesgo de parecer una rara mezcla entre la sinestesia entendida como fenómeno sensorial, su representación digital y física, y la acepción retórica de la misma en cuanto metáfora, se consideran en realidad como los puntos más prometedores de la investigación, ya que abren una gama de posibilidades hacia un concepto de sinestesia, que, enfocado en su capacidad de provocar asociaciones, saliendo de su carácter meramente autorreferencial, se inicia su consideración como elemento propulsor de ideas.

Los avances en el campo del mapeo y de la visualización de datos, posibles gracias a la computación, nos muestran cada día estructuras y taxonomías que, al provocar asociaciones antes desconocidas o puntos de vista inusuales, estimulan interpretaciones de lo existente y nuevas elaboraciones, inimaginables sin dichos mapeos o visualizaciones.

El transcurso de la sinestesia desde la esfera individual a algo divisible y compartido, ya sea por los sinestésicos mismos como por las personas no sinestésicas, contiene en si todo aquel enorme potencial de desarrollo y evolución que adquieren las cosas al hacerse compartidas, colectivas y conectivas, haciéndola pasar a otra dimensión en cuanto a su comprensión y en cuanto a su uso intencional.

Con la transmisión desde el mundo inmaterial a dispositivos materiales, la manifestación sinestésica, adquiere nuevas características debidas a la retroalimentación proporcionada por la conformación de dichos dispositivos y de la materia. Y por otro lado, de fenómeno instantáneo y volátil se convierte en algo que permanece, y que por lo tanto se puede observar y mentalizar más detenidamente.

Si bien los códigos y los dispositivos desarrollados en esta etapa son todavía un poco rudimentarios, lo cierto es que funcionan. Y pueden considerarse como la versión beta del trabajo y las premisas para una segunda fase, actualmente en proceso de estudio y realización, cuyos retos principales son: desarrollar un código o una aplicación con la cual se pueda mapear cualquier sinestesia existente, o generar unidades sinestésicas de manera intencional, a través de módulos básicos que consisten en las modalidades sensoriales básicas que se puedan conectar entre ellas. Y con modificadores, a través

de los cuales se puedan definir parámetros de asociación y variación.

A la vez que debe perfeccionarse el tránsito de los datos a los dispositivos físicos, ya que en esta primera etapa las conexiones se realizaron todas de manera alámbrica. Lo cual condicionó las conformaciones de las materializaciones y las posibilidades de uso de las mismas. Deberá igualmente experimentarse con otras personas, invitándolas a idear y realizar dichos dispositivos.

CAPÍTULO 3

CONCLUSIONES

3.1 Discusión, conclusiones y áreas de oportunidad

Cada uno de los apartados que componen esta tesis contiene sus propias conclusiones relacionadas con su enfoque específico; sin embargo se considera oportuno evidenciar algunos puntos generales que completan el discurso entendido en su totalidad.

a) Un fenómeno en acto y en evolución: la clave

Primero cabe recordar que el fenómeno del Pensar y el Hacer Avanzado en Arquitectura y Diseño, que es el objeto de esta tesis, no se presenta como una entidad fija y finalizada, sino más bien como algo dinámico, actualmente en curso, con cambios y evoluciones. Así que esta investigación, además de intentar comprenderlo y analizarlo, contribuye activamente a su desarrollo, en una continua retroalimentación entre su estudio y su aplicación.

Desde aquí se evidencia que el punto crucial para lograr una aproximarse a tal fenómeno y generar consciencia hacia el mismo, ha sido identificar una clave que lo pudiera definir, englobando su carácter mutante y evolutivo.

Esta clave, así como mostrado en las definiciones formuladas en los apartados precedentes, consiste en el entendimiento y el dominio del concepto de sistema, a través del cual podemos interpretar lo existente e idear nuevos artefactos, y gracias al cual podemos concebir el objeto en general como un conjunto de relaciones entre sus

componentes internos y el exterior que lo conforman, y le permiten comunicarse con el entorno y trascender.

Así que, como respuesta a este punto crucial, todas las investigaciones aplicadas aquí presentadas, cada una con su enfoque, fueron dirigidas principalmente hacia el entendimiento y el desarrollo de sistemas de varia naturaleza, analógicos o digitales, materiales o intangibles, según el caso.

b) Teoría y práctica

Otra cuestión es que para poderse aproximar a tal fenómeno, cuya peculiaridad es la capacidad de cambiar las formas de pensar y de hacer, se consideró oportuno abordarlo justo desde el pensar y el hacer mismos, experimentándolos a través de procesos de diseño y de materialización que permitieran vivirlo en directo, a fin de obtener resultados más claros y evidentes que se pudiesen analizar, discutir y evaluar.

De aquí la necesidad y la decisión de llevar todas las investigaciones desde un primer planteamiento teórico a su realización práctica, a través de sistemas digitales y materiales, que sea en los casos de conformaciones abstractas, sea en los casos que generaron objetos reales, nunca se limitaron a ser simulaciones o representaciones de tales objetos, siendo más bien ellos mismos en su manifestación real.

c) Fragmentación, visión general y consciencia

También cabe recordar que una de las observaciones iniciales que motivaron el desarrollo de esta investigación fue constatar que, el uso cada vez más masivo de herramientas y tecnologías avanzadas

en arquitectura y diseño no siempre se acompaña de una plena conciencia del concepto de sistema. Por lo tanto el fenómeno del Pensar y del Hacer Avanzado, que emerge desde dichas herramientas y tecnologías, se presenta a menudo de manera fragmentada, con un enfoque hacia las transformaciones producidas por la Revolución Informática y Digital, más que hacia las metamorfosis, que en realidad constituyen el verdadero potencial de estas nuevas formas de pensar y de hacer.

Una de las maneras a través de las cuales se atacó la problemática de tal fragmentación, así como visto en los apartados 1 y 2, fue la introducción del Pensar y del Hacer Avanzados desde las primeras etapas de la formación del diseñador, gracias al desarrollo de metodologías de trabajo, y gracias al diseño de actividades con las cuales se fomentaron el entendimiento y el dominio del concepto de sistema, tanto de manera analógica como digital, en el entorno virtual y material, en fase de proyecto y de realización, evidenciando el rol del diseño computacional, de la fabricación digital y de sus herramientas como partes de un conjunto y no como elementos puntuales.

La implementación de tales metodologías y actividades en los cursos de la carrera de arquitectura, además de las experiencias individuales o en grupo de los estudiantes, generó una gran variedad de objetos físicos cuya forma denota tal naturaleza de sistemas, que al permanecer en los espacios internos y externos del Campus de la Universidad de Monterrey, contribuyeron a la generación de una conciencia general hacia el Pensar y el Hacer Avanzados y sus posibilidades formales y espaciales simplemente con su presencia.

d) *El dominio de la complejidad: forma y materia*

El desarrollo de los mencionados sistemas digitales y materiales demostró que somos capaces de comprender y dominar aquella complejidad formal que no surge desde el dibujo sino más bien desde la programación, gracias al diseño de algoritmos. Y que somos capaces de aplicarla a la realización de objetos arquitectónicos reales. Algo demostrado con los pabellones de la investigación “Bichos”, que nacieron de dichos sistemas, que se fabricaron a escala real y que se usan a diario.

e) *Trascendencia*

Otra cuestión que emerge desde el concepto de estructura es la posibilidad de trascender, que se convierte en una necesidad. Lo cual, tal como se presentó en los apartados 3 y 5, fue posible gracias al desarrollo de sistemas sensibles capaces de reaccionar a datos in-materiales en tiempo real, con acciones transmitidas a la materia, abriendo una vasta gama de posibilidades que llevaron tal sensibilidad más allá de la pura función o de un uso puntual. Con lo cual se pudo trascender hacia el concepto del objeto capaz comunicar con varias entidades y de diferentes maneras, además de contener en sí capas multisensoriales y multimediales como parte de su propia naturaleza.

f) *Adaptación, relación con el contexto y materia*

El dominio de la complejidad y la trascendencia mencionadas en los puntos precedentes, conducen de manera directa a la cuestión de la adaptabilidad. En este caso cabe mencionar que con las investigaciones realizadas se logró realmente obtener sistemas capaces de conformarse a través de relaciones internas y externas, y en algunos

casos de mantener tal adaptabilidad en su forma material, presentado en los apartados 3, 4 y 5.

Sin embargo, a pesar de tales logros, la proporción entre la resiliencia de los sistemas digitales y su materialización está todavía desequilibrada, ya que en general a la hora de pasar a su estado material los objetos se vuelven fijos e inertes.

Si bien es cierto que la mayoría de ellos fueron pensados para poder quedarse fijos una vez materializados. Y también es cierto que en general tal estaticidad, más que el fruto de una estrategia bien planteada, es más bien una pérdida de flexibilidad debida al error conceptual de pensar en la forma física del objeto de manera separada a su desarrollo en el entorno digital; lo cual evidencia una gran área de oportunidad para investigaciones futuras hacia la exploración de las posibilidades de adaptación de los sistemas en su estado material.

g) Entorno digital y materia: procesos de generación de la forma

La desproporción entre las elevadas capacidades de adaptación de los sistemas digitales y su pérdida de flexibilidad a la hora de materializarse, evidencia otra área de oportunidad: con los sistemas realizados en todas las investigaciones aplicadas, se muestra ampliamente que en el entorno digital somos capaces de poner en marcha procesos de generación de las formas que, una vez establecidas las reglas de conformación, se generan sin la necesidad de dibujos o representaciones.

Asímismo, hemos demostrado también que somos capaces de comprender las propiedades intrínsecas de la materia y aplicarlas a la

generación de conformaciones, gracias al estudio de sistemas emergentes, experimentos de *form finding* en modalidad de *bottom up*, o por las posibilidades formales de la fabricación digital.

Sin embargo, otra vez, sigue existiendo una fractura en el paso de los sistemas digitales a su materialización, o viceversa: por un lado los sistemas formales obtenidos a través de ejercicios de *form finding* analógico, donde los componentes y sus agregaciones toman forma en base a las propiedades de la materia, a menudo se vuelven rígidos, forzados o necesitan simplificaciones drásticas a la hora de pasar al entorno digital. Por otro lado, los sistemas generativos realizados a través de algoritmos en la computadora, a pesar de ser fabricados digitalmente, en su fase de materialización se vuelven demasiado complejos, especialmente cuando pasan desde una dimensión de maqueta a la escala real.

Lo cual nos invita a estudiar mejor la conexión de estos pasos entre lo digital y la materia, en ambas direcciones. Primero pensando en como poder mantener las propiedades materiales en el entorno digital. Y luego en como poner en marcha procesos generativos en el mundo material.

h) Seres vivos como parte activa de los sistemas

Desde la última consideración sobre la necesidad de estudiar sistemas generativos capaces de conformarse y proliferar no sólo en el entorno digital sino en su estado material, se consolida cada vez más la idea de que la forma más avanzada de concebir el Pensar y el Hacer Avanzados en Arquitectura y Diseño es la introducción de elementos vivos en los sistemas; hasta ahora en esta tesis la introducción de la vida ha sido experimentada a través de la compren-

sión de criterios de organización, procesos de generación de las formas y la simulación de comportamientos de seres vivos en relación entre ellos. El paso siguiente es la integración de tales elementos vivos como parte activa de los sistemas, que se convierte en el reto principal de las investigaciones futuras.

3.2 Notas finales

Este trabajo nace desde la inquietud de comprender los cambios generados por la Revolución Informática y Digital, nuestras maneras de percibir el mundo y de elaborar cosas. Lo cual se resume fundamentalmente en la necesidad de comprender nuestro presente y actuar en él, acorde a sus características.

Uno de los aspectos que definen mayormente nuestra actualidad es la complejidad, que surge desde los avances de la tecnología y de los nuevos medios de comunicación, de capacidad de manejar grandes cantidades de datos con gran velocidad, y de comunicar entre ellas entidades similares y distintas, a través del mismo lenguaje, propias de la digitalización y de la computación.

Para poder enfrentarse a dicha complejidad, que consiste no sólo en la realidad en sí sino más bien en las maneras en que la entendemos, por un lado tenemos que ser conscientes de la misma, y por otro lado tenemos que saber desarrollar conceptos y artefactos capaces de expresarla a través de sus formas, sus estructuras, sus contenidos, sus características y sus funciones, su capacidad de resolver problemáticas, y su capacidad de relacionarse con lo exterior que los rodea y el medio en el que se encuentran.

Lo cual significa realmente ser capaces de pensar y actuar de manera avanzada; que a su vez consiste en considerar las posibilidades que ofrecen los medios de comunicación y las actuales tecnologías, que hoy en día nos permiten realmente pensar y realizar ideas u objetos, a través de procesos y métodos de trabajo antes inimaginables e inconcebibles.

Lo cual nos lleva al fenómeno del Pensar y del Hacer Avanzado en Arquitectura y Diseño, objeto de esta tesis, que si entendido y aplicado, nos permite la ideación y realización de conceptos y objetos capaces de ser parte de nuestra actualidad en toda su complejidad.

Con este trabajo, a través de la identificación de las bases de tal fenómeno, de su definición y de su aplicación, se pretendió mostrar que el Pensar y el Hacer Avanzados existen, que se pueden aplicar y ya se están aplicando, y que al aplicarlos se contribuye de manera activa a su comprensión y a su desarrollo, y a la generación de consciencia hacia ello.

Los objetos generados en las investigaciones aplicadas aquí presentes surgen todos de la comprensión de la complejidad de nuestra actualidad, la manifiestan y se comunican con ella; tales proyectos contienen en sí grandes logros y áreas de oportunidad que serán objeto de investigaciones futuras.

El del Pensar y el Hacer Avanzado es un fenómeno en evolución, que se sigue conformando a la vez que se sigue definiendo; por lo cual, por supuesto este trabajo se desarrolló con la consciencia de que algunas de sus partes serán sujetas a cambios y variaciones, siendo además tal carácter dinámico parte de su propia naturaleza.

Sin embargo hay algo que queda fijo, que consiste en su fundamentación, en el concepto de sistema, que contiene en sí los conceptos de identidad, de relación entre factores internos y externos, y de conexión directa entre las ideas y su realización, la forma digital y materialización física, que a pesar de los cambios debidos a la rápida evolución se queda como su parte esencial, constituyendo su sólida estructura.

De esta manera, se evidencia cómo el mismo desarrollo de esta tesis es en sí fruto de la aplicación del Pensar y del Hacer Avanzados, ya que se fundamenta conceptualmente en sus bases, sin las cuales no se habría podido concebir, presentándose así como un meta-estudio o un sistema dentro del sistema.

CAPÍTULO 4

BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía aquí presente reúne la bibliografía de los apartados que constituyen el cuerpo de la tesis, las referencias bibliográficas y todas las demás fuentes consultadas para el desarrollo de la investigación.

AA.VV. (2000). *Diccionario metápolis de arquitectura avanzada. Ciudad y tecnología en la sociedad de la información*. Barcelona: Actar.

Ackerman, D. (1990). *Una Historia Natural de los sentidos*. Barcelona: Editorial Anagrama S.A.

Alexander, C. (1967). *Note sulla sintesi della forma*. Milán: Il Saggiatore. (Obra original publicada en 1964).

Arkin, R.C. (1998). *Behavior-based Robotics*. Londres: The MIT Press.

Bastide, R.; Levi-Strauss, C; Lagache, D.; Lefebvre, H. et al. (1974). *Usi e significati del termine struttura*. Milán: Bompiani. (Obra original publicada en 1962).

Beck, U. (2016). *La Metamorfosi del mondo*. Bari: Editori GLF Laterza.

Bottero, J. et al. (1995). *Cultura, pensamiento, escritura*. Barcelona: Editorial Gedisa

- Briggs, A.; Burke, P. (2002). *De Gutenberg a Internet: Una historia social de los medios de comunicación*. Madrid: Santillana Ediciones Generales S.L.
- Burke, P. (2002). *Historia social del conocimiento: de Gutenberg a Diderot*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica S.A. (Obra original publicada en 2000).
- Cabrinha, M. (2010). "Parametric Sensibility: Cultivating the Material Imagination in Digital Culture". En AA.VV., *ACADIA 10*, Nueva York: The Cooper Union.
- Callejas, A.; Lupiañez, J. (2012). *Sinestesia: El color de las palabras, el sabor de la música, el lugar del tiempo...* Madrid: Alianza Editorial.
- Callejas, A.; Lupiañez, J. (2006). "Los colores de mis letras: sinestesia grafema-color". En M.J. Contreras, J. Botella, R. Cabestrero y B. Gil (coords.), *Lecturas de Psicología Experimental*. Madrid: UNED.
- Callejas, A.; Acosta, A.; Lupiáñez, J. (2007). "Green love is ugly: emotions elicited by synesthetic grapheme-color perceptions". *Brain Research*. 1127 (1), February 2007, pp. 99-107.
- Calvet, J. L. (2001). *Historia de la escritura, de Mesopotamia hasta nuestros días*. Barcelona: Paidós Iberica. (Obra original publicada en 1996).
- Catach, N. (ed.) (1988). *Hacia una teoría de la lengua escrita*. Barcelona: Editorial Gedisa.
- Cavalli Sforza, L. (2000). *Genes, Pueblos y Lenguas*. Barcelona: Editorial Crítica S.L. (Obra original publicada en 1996).

- Chu, K. (2005). "Metaphysic of genetic architecture and computation". En A. T. Estévez (ed.), *Genetic Architectures II: Digital tools and organic forms*. Barcelona / Santa Fe: ESARQ / SITES books, pp. 132-180.
- Costa, M. (2009). *Psicologia ambientale e architettura*. Milán: Franco Angeli S.r.l.
- D'Arcy, T. (1992). *On growth and form*. Cambridge: Cambridge University Press.
- De Kerckhove, D. (2014). *Psicotechnologie connettive*. Milán: Egea S.p.a.
- De Kerckhove, D. (2001). *L'architettura dell'intelligenza*. Roma: Testo & Immagine SRL.
- De Kerckhove, D. (1999). *Inteligencias en conexión: hacia una sociedad de la web*. Barcelona: Editorial Gedisa. (Obra original publicada en 1997).
- De Kerckhove, D. (2009) *La piel de la cultura: investigando la nueva realidad electrónica*. Barcelona: Editorial Gedisa. (Obra original publicada en 1999).
- De Vos C.; De Kerckhove, D. (2013). *Ecrit-Ecran, 1. Formes graphiques*. París: L'Harmattan.
- De Vos C.; De Kerckhove, D. (2013). *Ecrit-Ecran, 2. Formes de pensée*. París: L'Harmattan.
- De Vos C.; De Kerckhove, D. (2013). *Ecrit-Ecran, 3. Formes d'expression*. París: L'Harmattan.
- D'Hermies, M. (1974). *Art et sens*. París: Masson et Cie.

- Douglis, E., (2005). "Auto-Braids / Auto-Breeding". En A. T. Estévez (ed.), *Genetic Architectures II: Digital tools and organic forms*. Barcelona / Santa Fe: ESARQ / SITES books, pp. 126-131.
- Douglis, E. (2009). *Autogenic structures*. Nueva York: Taylor & Francis.
- Estévez, A. T. (2015). *Biodigital Architecture & Genetics: Writings / Escritos*. Barcelona: ESARQ-UIC.
- Estévez, A. T.; Buxó, M. J.; Casanovas, A.; Cirlot, L. (2007). *Arte, arquitectura y sociedad digital*. Barcelona: Edicions Universitat de Barcelona.
- Estévez, A. T. (2005). "Arquitectura Biomórfica". En A. T. Estévez (ed.), *Genetic Architectures II: Digital tools and organic forms*. Barcelona / Santa Fe: ESARQ / SITES books, pp. 19-80.
- Flager, F.; Welle, B.; Bansal, P.; Soremekun, G.; Haymaker, J. (2009). "Multidisciplinary Process Integration and Design Optimization of a Classroom Building". *Information Technology in Construction*, 14 (38), pp. 595-612.
- Frogheri, D.; Estévez, A. T. (2016a). "Entre el pensar y el hacer avanzados". En AA.VV., *XX Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, Blucher Design Proceedings*, v. 3, n. 1. São Paulo: Blucher, pp. 219-226.
- Frogheri, D.; Estévez, A. T. (2016b). "TransSynaesthesia: Mapping, visualizing and materializing human synaesthesia to think and make multisensorial things". En AA.VV., *XX Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, Blucher Design Proceedings*, v. 3, n. 1. São Paulo: Blucher, pp. 824-830.

- Frogheri, D.; Meneses-Carlos, F.; Estévez, A. T. (2017a). "Morfologías resilientes: Desde lo digital a la materia". En AA.VV., *XXI Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, Blucher Design Proceedings*, v. 3, n. 12. São Paulo: Blucher, pp. 311-318.
- Frogheri, D.; Meneses-Carlos, F.; Estévez, A. T. (2017b). "Arquitectura sensible en relación con el contexto: Mimesis y proxémica como formas de comunicación". En AA.VV., *XXI Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, Blucher Design Proceedings*, v. 3, n. 12. São Paulo: Blucher, pp. 125-132.
- Frogheri, D.; Estévez, A. T. (2017). "Bichos: una familia de pabellones en evolución". En A. T. Estévez (ed.), *3rd International Conference of Biodigital Architecture & Genetics*. Barcelona: ESARQ (UIC Barcelona), pp. 224-239.
- Foucault, M. (1978). *Le parole e le cose*. Milán: BUR Supersaggi. (Obra original publicada en 1966).
- Galton, F. (1880). "Visualised numerals", *Nature*, 22, pp. 494-495.
- Genter, D; Goldin-Meadow, S. (ed.). (2003). *Language in mind, advances in the study of language and thought*. Londres / Cambridge, Massachussets: The MIT Press.
- Gerber, D. J. (2007). "Parametric practices: models for design exploration in architecture". *D. Des Thesis*, Cambridge: Harvard University.
- Gerber, D. J.; Solmaz, A. S. (2012). "PARA-Typing the making of difference: Associative parametric design methodologies for teaching the prototyping of material affect". En AA.VV., *CAADRIA 2012*, Chennai: CAADRIA, pp. 233-242.

- Gerber, D. J.; Lin, S.-H. (2012). "Designing-in performance through parameterisation, automation, and evolutionary algorithms: H.D.S. BEAGLE 1.0". En AA.VV., *CAADRIA 2012*. Chennai: CAADRIA, pp. 141-150.
- Gere, C. (2002). *Digital Culture*. Londres: Reaktion Books Ltd.
- Gershenfeld, N. (1999). *When Things Start to Think*. Nueva York: Henry Holt and Company Inc.
- Gershenfeld, N. (2007). *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop-from Personal Computers to Personal Fabrication*. Basic Books.
- Gullart, V. (2014). *The Self-Sufficient City: Internet Has Changed Our Lives but It Hasn'T Changed Our Cities. Yet*. Anaheim, CA: ACTA Press.
- Godwin, B. (1998). *Las manchas del leopardo. La evolución de la complejidad*. Barcelona: Tusquets Editores, S.A. (Obra original publicada en 1994).
- Haeckel, E. (1998). *Art forms in nature*. Munich / Nueva York: Prestel.
- Hall, E. (1971). *La dimension cachée*. París: Éditions du seuil.
- Hofstadter, D. R. (2003). *Godel, Escher, Bach: un' Eterna Ghirlanda Brillante*. Milán: Adelphi edizioni. (Obra original publicada en 1979).
- Holzer, D.; Hough, R.; Burry, M. (2007). "Parametric Design and Structural Optimisation for Early Design Exploration", *International Journal of Architectural Computing*, 5 (4), pp. 625-643.
- Hubbard, E.M.; Ramachandran, V. S. (2005). "Neurocognitive Mechanisms of Synesthesia". *Neuron*, v. 48, pp. 509-520.

- Iwamoto, L.; Scott, C. (2011). "Material Computation: Voussoir cloud". En AA.VV., *ACADIA 11*, Banff, Alberta: ACADIA, pp. 52-55.
- Johnson, S. (2003). *Sistemas emergentes: o qué tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software*. Madrid: Turner. (Obra original publicada en 2001).
- Levy, P. (1997). *L'intelligence Collective: Pour une anthropologie du cyberspace*, Paris: La Découverte.
- Lupiáñez, J.; Callejas, A. (2006). "Automatic perception and Synaesthesia: evidence from colour and photism naming in a Stroop-Negative Priming task". *Cortex*, Febrero 2006, 42 (2), pp. 204-12.
- Mandelbrot, B. (2009). *La Geometría Fractal de la Naturaleza*. Barcelona: Tusquets Editores. (Obra original publicada en 1977).
- Maturana, H.; Varela, F. (1973). *De Máquinas y Seres Vivos*. Santiago de Chile: Universitaria Santiago de Chile.
- McLuhan, H. M.; Powers, B. R. (1995). *La aldea global: transformaciones en la vida y los medios de comunicación mundiales en el Siglo XXI*. Barcelona: Gedisa. (Obra original publicada en 1989).
- McLuhan, H. M. (1996). *Comprender los medios de comunicación. Las extensiones del ser humano*. Barcelona / Buenos Aires / México: Paidós. (Obra original publicada en 1964).
- McLuhan, H.M. (1985). *La Galaxia Gutemberg*. Barcelona: Planeta Agostini. (Obra original publicada en 1962).
- Menges, A. (2007). "Computational Morphogenesis: Integral Form Generation and Materialization Processes". En AA.VV., *3rd International ASCAAD Conference*.

- Mumford, L. (2000). *Técnica y civilización*. Madrid: Alianza. (Obra original publicada en 1934).
- Negroponte, N. (1996). *Being Digital*. Vintage Books.
- Olson, D. R.; Torrance, N. (eds.) (1998). *Cultura escrita y oralidad*. Barcelona: Editorial Gedisa.
- Penrose, R. (1989). *The emperor's new mind*. Oxford: Oxford University Press.
- Pinker, S. (1995). *The language instinct*. Nueva York: Harper Perennial edition. (Obra original publicada en 1994).
- Prusinkiewicz, P.; Lindenmayer, A. (2012). *The Algorithmic Beauty of Plants*. Springer Science & Business Media.
- Ramachandran, V. S. (2004). *A Brief Tour Of Human Consciousness: From Impostor Poodles To Purple Numbers*. Pi Press.
- Ramachandran, V. S. (1999). *Phantoms In The Brain*. William Morrow Paperbacks.
- Ramachandran, V. S.; Hirstein, W. (1999). "The science of art: A neurological theory of aesthetic experience", *Journal of Consciousness Studies*, 6 (6–7), pp. 15-51.
- Ramachandran, V. S.; Hubbard, E. M. (2001a). "Psychophysical investigations into the neural basis of synaesthesia". *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 268, pp. 979-983.
- Ramachandran, V. S.; Hubbard, E. M. (2001b). "Synaesthesia: a window into perception, thought and language". *J. Consciousness Stud.*, 8, pp. 3-34.
- Ramachandran, V. S.; Hubbard, E. M. (2003). "The phenomenology of synaesthesia". *J. Consciousness Stud.*, 10, pp. 49-57.

- Riether, G.; Wit, A. J. (2015). "Redefining Parametric Pedagogy". En AA.VV., *Proceedings from the 2015 SIGraDi Conference*, pp. 713-718.
- Rifkin, J. (2013). *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, The Economy, and The World*. Nueva York: Griffin.
- Roseblum, B.; Kuttner, F. (2010). *El enigma cuántico, encuentros entre la física y la conciencia*. Barcelona: Tusquets Editores.
- Sass, L.; Oxman, R. (2006). "Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design", *Design Studies*, 27 (3), pp. 325-355.
- Schrödinger, E. (2006). *La naturaleza y los griegos*. Barcelona: Tusquets Editores. (Obra original publicada en 1948).
- Schrödinger, E. (2007). *Mente y materia*. Barcelona: Tusquets Editores. (Obra original publicada en 1956).
- Smilek, D.; Callejas, A.; Dixon, M. J.; Merikle, P. M. (2007). "Ovals of time: time-space associations in synaesthesia2". *Consciousness and Cognition*, Junio, 16 (2), pp. 507-519.
- Stiny, G. (1980). "Introduction to shape and shape grammars", *Environment and Planning B*, v. 7, pp. 324-351.
- Terzidis, K. (2006). *Algorithmic Architecture*. Oxford: Architectural Press.
- Tommasello, M. (2010). *Origins of Human Communication*. Londres / Cambridge, Massachussets: The MIT Press.
- Wagensberg, J. (1999). "Complejidad e Incertidumbre". *Mundo Científico*, 201, Mayo 1999.

- Wagensberg, J. (2004). *La rebelión de las formas o cómo preservar cuando la incertidumbre aprieta*. Metatemas MT8. Barcelona: Tusquets Editores.
- Weinstock, M. (2004). "Morphogenesis and the Mathematics of Emergence", *Arquitectura Design AD*, n. 74, Londres.
- Wiener, N. (1961). *Cybernetics; or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Boston: Mit University Press Group Ltd.
- Wolfram, S. (2002). *A New Kind of Science*. Champaign, IL: Wolfram Media Inc.
- Wolfram, S. (1984). "Cellular automata as models of complexity". *Nature*, 311 (5985), pp. 419-424.
- Wollen, K.A.; Ruggiero, F.T. (1983). "Colored-letter synaesthesia2. *J. Ment. Imagery*, 7, pp. 83–86.

ANEXO I

CÓDIGOS

En este anexo se presentan los código realizados por la autora de esta tesis a lo largo de la investigación TransSynaesthesia, así como presentados en el curso Fab Academy 2015, que es el entorno dentro del cual se han desarrollado. Por lo cual se optó dejar el documento en inglés, que es el idioma en el que se redactó su versión original.

TransSynaesthesia - Daniela Frogheri Fab Academy 2015 / Week 15 / **Interface and application programming: CODES**

One of the most important part of my final project is to do a tool to map the personal Synaesthesia, generating what that I call the “SYNAESTHETIC UNIT” composed from two things:

- 1: "NUMBER or LETTER or WORD", that can be a SIGN or a SOUND;
- 2: "COLOR", that is the personal color associated to the element 1, and that changes for each person.

This “SYNAESTHETIC UNIT” is the input; The output is a light that takes the mapped color. For this assignment I generated the codes and he interface to do it, unusing the Arduino IDE and Processing. The board that I used is based on the “satshakit by Daniele Ingrassia”, and a RGB led anode.

Mapping: Sign+Color; Writing; Arduino IDE

I used at first the Arduino IDE to generate the first codes to map the colors of Synaesthesia; the codes are very simple: Here, the input is a “sign” (something that you write) and the output is a led that takes the color of these “sign”. You can associate a color with a “sign” mapping your synaesthesia; the map here is “manual”: writing the RGB values that corresponds to your colors; in this case without any interface. Here, the codes that I made.

Code 1: Colors of Numbers

```
1 /*
2 Daniela Frogheri
3 12.05.2015
4 FAB ACADEMY 2015
5 -----
6 THE COLORS OF THE NUMBERS;
7 -----
8 VISUALIZATION OF PERSONAL SYNAESTHESIA MAPPING THE COLOR OF THE
   NUMBERS,LETTERS AND WORDS
9 map the colors of your numbers writing the RGB
10 the led ( COMMON ANODE )takes the color of your number
11
12 -----
13 MyNsynesthesia = to map your color
14 -----
15 */
16
17 // definition of the pin for each led//
18 int ledVERDE = 9;
19 int ledBLU= 10;
20 int ledROSSO = 11;
21
22 int MyNsynesthesia = 3;// WRITE HERE THE NUMBER
23;
24
25 void setup()
26 {
27   pinMode(ledROSSO,OUTPUT); //red led output;
28   pinMode(ledVERDE,OUTPUT); //green led output
29   pinMode(ledBLU,OUTPUT); //blu led output
30 }
31
32
33 //LOOP: change the delay to modify the time of the loop;
34
35 void loop()
36 {
37
38   MyNsynesthesia = MyNsynesthesia;
39
40   /* THE COLORS OF THE NUMBERS
41   _____
42   -map of the personal colors; this is an example with my colors
43
44   */
45
```

```
46 if (MyNsynesthesia == 0)
47 {
48 color(255,255,255);
49 delay(1000);
50
51 }
52
53
54 if (MyNsynesthesia == 1)
55 {
56 color(50,80,100);
57 delay(1000);
58
59 }
60
61 if (MyNsynesthesia == 2)
62 {
63 color(40,255,0);
64 delay(1000);
65
66 }
67
68 if (MyNsynesthesia == 3)
69 {
70 color(255,0,0);
71 delay(1000);
72
73 }
74
75 if (MyNsynesthesia == 4)
76 {
77 color(200,0,255);
78 delay(1000);
79
80 }
81
82 if (MyNsynesthesia == 5)
83 {
84 color(255,50,0);
85 delay(1000);
86
87 }
88
89 if (MyNsynesthesia == 6)
90 {
91 color(0,255,100);
92 delay(1000);
93
94 }
95
```

ENTRE EL PENSAR Y EL HACER AVANZADOS

```
96 if (MyNsynesthesia == 7)
97 {
98   color(0,255,20);
99   delay(1000);
100
101   }
102
103   if (MyNsynesthesia == 8)
104   {
105     color(220,0,120);
106     delay(1000);
107
108   }
109
110   if (MyNsynesthesia == 9)
111   {
112     color(0,0,60);
113     delay(1000);
114
115   }
116   }
117   //-----
118   //color function
119   //-----
120   void color(int rosso, int verde, int blu){
121
122     analogWrite(ledROSSO, 255-rosso);// PWM red; PWM rosso; PWM rojo;
123
124     analogWrite(ledVERDE, 255-verde);// PWM green; PWM verde; PWM verde;
125
126     analogWrite(ledBLU, 255-blu);// PWM bu; PWM blu; PWM azul;
127   }
128
129   /* NOTES:
130   - here to map the colors of numbers you have to put each value by hand and
    searching the RGB;
131   the next step is to do an interface to select the color and to save the data;
132
133   */
```

Code2:
Colors of Letters

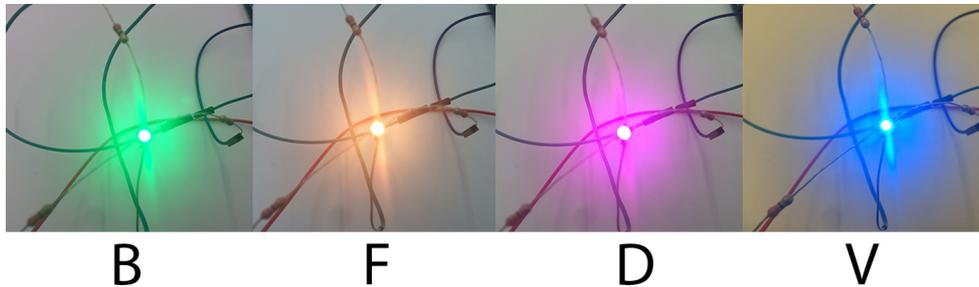


Figura al.1- Daniela Frogheri:

led RGD que adquiere el color mapeado según el código 2.

```
1 /*
2 Daniela Frogheri
3 12.05.2015
4 FAB ACADEMY 2015
5 -----
6 THE COLORS OF THE LETTERS;
7 -----
8 VISUALIZATION OF PERSONAL SYNAESTHESIA MAPPING THE COLOR OF THE LETTERS
9 map the colors writing the RGB
10 the led ( COMMON ANODE )takes the color of your letter
11 -----
12 MyNsynesthesia = to map your color
13 -----
14
15 */
16 // definition of the pin for each led//
17 int ledVERDE = 9;
18 int ledBLU = 10;
19 int ledROSSO = 11;
20 char MyLsynesthesia = 'a'; // WRITE HERE THE LETTER;
21 ;
22 void setup()
23 {
24   pinMode(ledROSSO,OUTPUT); //red led output;
25   pinMode(ledVERDE,OUTPUT); //green led output
26   pinMode(ledBLU,OUTPUT); //blu led output
27 }
28 //-----
29 //LOOP: change the delay to modify the time of the loop;
30 //-----
31 void loop()
32 {
33   MyLsynesthesia = MyLsynesthesia;
```

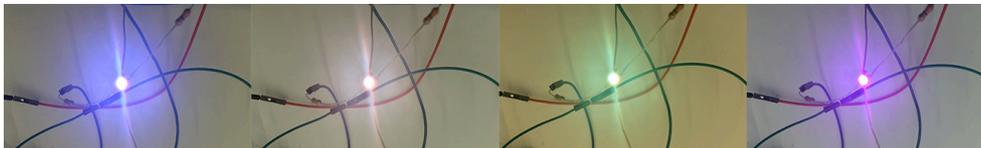
```

1  /* THE COLORS OF THE LETTERS
2  _____

3  -map of the personal colors;
4
1  */
1  if (MyLsynesthesia == 'a')
2  {
3  color(0,255,0);
4  delay(1000);
1  }
1  if (MyLsynesthesia == 'b')
2  {
3  color(0,255,0);
4  delay(1000);
1  }
1  if (MyLsynesthesia == 'c')
2  {
3  color(255,255,0);
4  delay(1000);
1  }
1  }
1  /* complete your alphabet ...;
1  }
2  if (MyLsynesthesia == "")
3  {
4  color(255,255,0);
5  delay(1000);
6  }
1  */
1  /*
2  -----
3  color function;
4  -----
5  */
1  void color(int rosso, int verde, int blu){
1  analogWrite(ledROSSO, 255-rosso);// PWM red;
1  analogWrite(ledVERDE, 255-verde);// PWM green;
1  analogWrite(ledBLU, 255-blu);// PWM blu;
2  }
*/

```

Code 3: Colors of Words



from a color to another:
the values of the RGB are parameters with different speed

Figura al.2- Daniela Frogheri:

led RGD que adquiere el color mapeado según el código 3.

This work is based on my own Synaesthesia: each LETTER of the alphabet has a COLOR; the WORDS take the COLOR of their FIRST LETTER, but rather than static, this color changes becoming white or desaturated; this is what happen in general, but there are some exceptions: some specific letters has two colors, and sometime the words that start with a vibration between those two letters, and then changes to the white like the others. On this code, I used a string to define a letter or a word with the some parameter: changing the length of the string I can have a letter or a word.

General case

This is when the letter of the alphabet has only one color:

- - If the string has only 1 element, the color is static: the value of the RGB are numbers.
- - If the string length is more than 1, the word takes the color of the first letter and changes to the white; the values of the RGB are parameters.

The delay of the change is directly proportional with the length and with differents possibilities of speed; for this, I have those parameters:

- - Durata = general permanence of the light
- - pd = to start the delay (this is not necessary... but is useful for me... can be eliminated)
- - x = steps of the change of color and the function is: $(x= x+t/\text{length})$

of the word)

- - t1, t2, t3, t4 = to control the speed ('t' – can be only 1 but is useful for me to combine the colors mixing different speeds)

Exception

For the case where the letter has two colors

- - If is only a letter, the RGB changes from a color to another, in a short time; the values of the RGB are numbers and parameters.
- - If is a word, after I putted two loops, the first one like the case of the letter and then it changes slowly to the white, like the option 2 for the general case, using the same parameters; RGB values are parameters.

```

1 /*
2 DANIELA FROGHERI
3 20.05.2015
4 FAB ACADEMY 2015
5 -----
6 VISUALIZATION OF PERSONAL SYNAESTHESIA MAPPING THE COLOR OF THE LETTERS
  AND WORDS;
7 -----
8 MAP AND GENERATE YOUR COLORS AND ITS VARIATIONS;
9 -----
10the led ( COMMON ANODE ) takes the color of your letters or words;
11
12*/
13
14// definition of the pin for each led//
15int ledVERDE = 9;
16int ledBLU= 10;
17int ledROSSO = 11;
18
19int a = 255; //
20
21int c1 = 0; // increasing
22int c2 = 0; // increasing
23int c3 = 0; // increasing
24
25int d1 = 255; // decreasing
26int d2 = 255; // decreasing
27int d3 = 255; // decreasing
28int n1 = 10; // steps - slow
29int n2 = 20; // steps - med
30int n3 = 50; // steps - fast
31

```

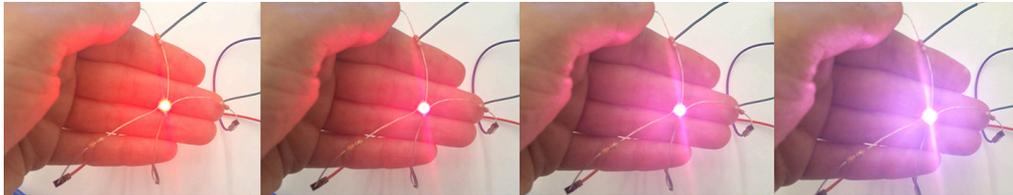
```

32
33 String parola = "a"; // can be a letter or a word
34 void setup()
35 {
36   pinMode(ledROSSO,OUTPUT); //red led output;
37   pinMode(ledVERDE,OUTPUT); //green led output
38   pinMode(ledBLU,OUTPUT); //blu led output
39 }

40 void loop()
41 {
42   parola = parola;
43
44   a = a;
45
46   n1 = n1;
47   n2 = n2;
48   n3 = n3;
49
50   c1 = c1 + n1; // da 0 a 255 - slow
51   c2 = c2 + n2; // da 0 a 255 - med
52   c3 = c3 + n3; // da 0 a 255 - fast
53
54   d1 = d1 - n1; // da 255 a 0 - slow
55   d3 = d3 - n3; // da 255 a 0 - fast
56 // generate your color
57
58 if (parola [0]== 'a')
59 {
60   color(d1,c1,d2); // the combination between the parameters with differents speed, can
        generate the change of colors that you want;
61   delay (1000);
62 }
63 }
64 // color function
65
66 void color(int rosso, int verde, int blu){
67
68   analogWrite(ledROSSO, 255-rosso); // PWM red;
69
70   analogWrite(ledVERDE, 255-verde); // PWM green;
71
72   analogWrite(ledBLU, 255-blu); // PWM bu; PWM blu;
73 }

```

Code 4:
Colors of Alphabet & Words



the word: "ALFA"

Figura al.3- Daniela Frogheri:

led RGD que adquiere el color mapeado según el código 4.

```
1 /*
2 DANIELA FROGHERI
3 30.05.2015
4 FAB ACADEMY 2015
5 -----
6 COLORS OF ALPHABET AND WORDS
7 -----
1 VISUALIZATION OF PERSONAL SYNAESTHESIA MAPPING THE COLOR OF THE LETTERS
  AND WORDS
2 map the colors writing the RGB
3 the led ( COMMON ANODE )takes the color of your letter
4 -----
5 *****
6 READ THE COMPLETE DESCRIPTION IN THE BOTTOM OF THE PAGE
7 *****
1 */
1 // definition of the pin for each led//
2 int ledVERDE = 9;
3 int ledBLU= 10;
4 int ledROSSO = 11;
1 int x = 0; // steps for the change from the color to the white; directly proportional to
  the length of the word
2 int durata; // during of the lighth (delay);
3 int pd = 500; // initial value of the delay;
4 int t1 = 50; // fast
5 int t2 = 10; // middle
6 int t3 = 1; // slow
7 float t4 = 0.1; //very slow
1 String parola = "alphabet"; // can be a letter or a word
1 void setup()
2 {
3 pinMode(ledROSSO,OUTPUT); //red led output;
```

```

4 pinMode(ledVERDE,OUTPUT); //green led output
5 pinMode(ledBLU,OUTPUT); //blu led output
6 }
1 void loop()
2 {
3   parola = parola;
4   x = x + t2/parola.length();// x + (1/length of the word);
5   t1 = t1;
6   t2 = t2;
7   t3 = t3;
8   t4 = t4;
9   pd = pd;
10  durata = pd ;
11 // PERSONAL MAPPING: COLORS OF THE LETTERS OF THE ALPHABET
12 //-----
13 // mappa la a
14 //-----
15 if (parola [0]== 'a' && parola.length() == 1)
16 {
17   color(255,0,0); // scrivi i tuoi valori rgb della a
18   delay (durata);
19 }
20 else if (parola [0]== 'a' && parola.length() > 1)
21 {
22   color(255,x,x); // somma x ai valori minori di 255
23   delay (1000);
24 }
25 //-----
26 // mappa la b
27 //-----
28 else if (parola [0]== 'b' && parola.length() == 1)
29 {
30   color(0,255,0); // scrivi i tuoi valori rgb della b
31   delay(durata);
32 }
33 else if (parola [0]== 'b' && parola.length() > 1)
34 {
35   color(x,255,x); // somma x a i valori minori di 255
36   delay(durata);
37 }
38 //-----
39 // mappa la c
40 //-----
41 else if (parola [0]== 'c' && parola.length() == 1)
42 {
43   color(255,100,0); // scrivi i tuoi valori rgb della c
44   delay(durata);
45 }
46 else if (parola [0]== 'c' && parola.length() > 1)
47 {

```

```

3 color(255,100+x,x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
2 //-----
3 // mappa la d //-----
4 else if (parola [0]=='d' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(255,10,70); // scrivi i tuoi valori rgb della d
7 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]=='d' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(255,10+x,70+x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
2 //-----
3 // mappa la e
4 //-----
5 else if (parola [0]=='e' && parola.length() == 1)
6 {
7 color(0,100,255); // scrivi i tuoi valori rgb della e
8 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]=='e' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(x,100,255); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
2 //-----
3 // mappa la f
4 //-----
5 else if (parola [0]=='f' && parola.length() == 1)
6 {
7 color(255,80,0); // scrivi i tuoi valori rgb della e
8 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]=='f' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(255,80+x,x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
2 //-----
3 // mappa la g
4 //-----
5 else if (parola [0]=='g' && parola.length() == 1)
6 {
7 color(220,0,120); // scrivi i tuoi valori rgb della g
8 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]=='g' && parola.length() > 1)

```

```

2 {
3 color(220+x,x,120+x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 //-----
2 // mappa la h
3 //-----
4 else if (parola [0]== 'h' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(100,100,0); // scrivi i tuoi valori rgb della h
7 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'h' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(100+x,100+x,x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 //-----
2 // mappa la i
3 //-----
4 else if (parola [0]== 'i' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(220,220,220); // scrivi i tuoi valori rgb della i
7 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'i' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(220-x,220-x,220-x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 //-----
2 // mappa la j
3 //-----
4 else if (parola [0]== 'j' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(230,230,50); // scrivi i tuoi valori rgb della j
7 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'j' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(230-x,230-x,50-x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 //-----
2 // mappa la k
3 //-----
4 else if (parola [0]== 'k' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(250,170,30); // scrivi i tuoi valori rgb della k
7 delay(durata);

```

```

1 }
1 else if (parola [0]== 'k' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(250-x,170-x,30-x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 //-----
2 // mappa la l
3 //-----
4 else if (parola [0]== 'l' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(110,110,240); // scrivi i tuoi valori rgb della l
7 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'l' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(110-x,110-x,240-x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 //-----
2 // mappa la m
3 //-----
4 else if (parola [0]== 'm' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(220,100,0); // scrivi i tuoi valori rgb della m
7 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'm' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(220+x,100+x,x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
2 //-----
3 // mappa la n
4 //-----
5 else if (parola [0]== 'n' && parola.length() == 1)
6 {
7 color(0,0,255); // scrivi i tuoi valori rgb della n
8 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'n' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(x,x,255); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 //-----
2 // mappa la o
3 //-----
4 else if (parola [0]== 'o' && parola.length() == 1)
5 {

```

```

6 color(0,0,100); // scrivi i tuoi valori rgb della o
7 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'o' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(x,x,100); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
2 //-----
3 // mappa la p
4 //-----
5 else if (parola [0]== 'p' && parola.length() == 1)
6 {
7 color(250,10,120); // scrivi i tuoi valori rgb della p
8 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'p' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(250,10+x,120+x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
2 //-----
3 // mappa la q
4 //-----
5 else if (parola [0]== 'q' && parola.length() == 1)
6 {
7 color(100,20,100); // scrivi i tuoi valori rgb della q
8 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'q' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(100+x,20+x,100+x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
2 //-----
3 // mappa la r
4 //-----
5 else if (parola [0]== 'r' && parola.length() == 1)
6 {
7 color(255,90,10); // scrivi i tuoi valori rgb della r
8 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'r' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(255,90+x,10+x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 //-----
2 // mappa la s
3 //-----

```

```

4 else if (parola [0]== 's' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(0,255,100); // scrivi i tuoi valori rgb della s
7 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 's' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(x,255,100+x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 //-----
2 // mappa la t
3 //-----
4 else if (parola [0]== 't' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(0,255,10); // scrivi i tuoi valori rgb della s
7 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 't' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(x,255,10+x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 //-----
2 // mappa la u
3 //-----
4 else if (parola [0]== 'u' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(0,0,255); // scrivi i tuoi valori rgb della u
7 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'u' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(x,x,255); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 //-----
2 // mappa la v
3 //-----
4 else if (parola [0]== 'v' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(0,100,200); // scrivi i tuoi valori rgb della v
7 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'v' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(x,100+x,255); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 //-----

```

```

2 // mappa la w
3 //-----
4 else if (parola [0]== 'w' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(10,10,200); // scrivi i tuoi valori rgb della w
7 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'w' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(10+x,10+x,200+x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 //-----
2 // mappa la y
3 //-----
4 else if (parola [0]== 'y' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(220,220,50); // scrivi i tuoi valori rgb della y
7 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'y' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(220-x,220-x,50-x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
2 //-----
3 // mappa la z
4 //-----
5 else if (parola [0]== 'z' && parola.length() == 1)
6 {
7 color(0,255,80); // scrivi i tuoi valori rgb della z
8 delay(durata);
1 }
1 else if (parola [0]== 'z' && parola.length() > 1)
2 {
3 color(x,255,80+x); // somma x a i valori minori di 255
4 delay(durata);
1 }
1 }
1 /*
2 -----
3 color function;
4 -----
5 */
1 void color(int rosso, int verde, int blu){
1 analogWrite(ledROSSO, 255-rosso); // PWM red;
1 analogWrite(ledVERDE, 255-verde); // PWM green;
1 analogWrite(ledBLU, 255-blu); // PWM bu; PWM blu;
2 }
1 /*

```

Code 5:

Colors of Alphabet & Numbers_with Changing Colors

```

1 /*
2 DANIELA FROGHERI
3 30.05.2015
4 FAB ACADEMY 2015
5 -----
6 COLORS OF ALPHABET AND WORDS;
7 -----
1 VISUALIZATION OF PERSONAL SYNAESTHESIA MAPPING THE COLOR OF THE LETTERS
  AND WORDS
2 map the colors writing the RGB
3 the led ( COMMON ANODE )takes the color of your letter
1 EXAMPLES
1 */
1 // definition of the pin for each led//
2 int ledVERDE = 9;
3 int ledBLU= 10;
4 int ledROSSO = 11;
1 int x = 0; // steps for the change from the color to the white; directly proportional to
  the length of the word
2 int durata; // during of the lighth (delay);
3 int pd = 500; // initial value of the delay;
4 int t1 = 50; // fast
5 int t2 = 10; // middle
6 int t3 = 1; // slow
7 float t4 = 0.1; //very slow
8 int p; // value +
9 int n; // value -
1 String parola = "kaaa"; // can be a letter or a word
1 void setup()
2 {
3 pinMode(ledROSSO,OUTPUT); //red led output;
4 pinMode(ledVERDE,OUTPUT); //green led output
5 pinMode(ledBLU,OUTPUT); //blu led output
6 }
1 void loop()
2 {
3 parola = parola;
1 x = x + t2/parola.length(); // x + (1/length of the word);
2 t1 = t1;
3 t2 = t2;
4 t3 = t3;
5 t4 = t4;
6 pd = pd;
7 durata = pd;
8 n = n+1;
9 p = 255-1;

```

ENTRE EL PENSAR Y EL HACER AVANZADOS

```
1 // PERSONAL MAPPING: COLORS OF THE LETTERS OF THE ALPHABET
1 //-----
2 // GENERAL: the letter has only a static color; the word changes from the color to the
   white
3 //-----
4 if (parola [0]== 'a' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(255,0,0); // the values of the color are numbers
7 delay (durata);
8 }
9 else if (parola [0]== 'a' && parola.length() > 1)
10{
1 color(255,x,x); // the colors runs to the (255, 255, 255)
2 delay (1000);
1 }
1 //-----
2 // EXCEPTION : the letter has two colors thar are alternated; the word changes from the
   color to the white
3 //-----
4 else if (parola [0]== 'k' && parola.length() == 1)
5 {
6 color(255,n,n); // two alternated colors
7 delay(20);
8 }
1 else if (parola [0]== 'k' && parola.length() > 1)
2 {
1 color(255,n,0); // two alternated colors
2 delay(20);
3 color(255,x,x); // the colors runs to the (255, 255, 255)
4 delay(durata);
1 }
1 }
1 /*
2 -----
3 color function;
4 -----
5 */
1 void color(int rosso, int verde, int blu){
1 analogWrite(ledROSSO, 255-rosso);// PWM red;
1 analogWrite(ledVERDE, 255-verde);// PWM green;
1 analogWrite(ledBLU, 255-blu);// PWM bu; PWM blu;
2 }
```

Code 6:

Mapping and Selecting:

Sign&Colors; Interfaces; Processing and Arduino IDE

I used Processing to generate an interface to associate a color with a number, letter or word, connecting with arduino to send the information to the leds. For the interface I found a very useful example, that I used to understand how to select a color from a picture and sent it to a led, but I had to change it, because in my case the most important thing was to connect the color with a letter or number; another thing that I changed are the values of the les because it was for a cathode, but I'm using anodes.

- Reference: selecting colors and lighth:
<http://arbolesypisosverdes.blogspot.mx>
- This is the Arduino IDE that I made that works with all the next codes:

```

1 /*
2 DANIELA FROGHERI
3 Fab Academy 2015
4
5 SELECT A COLOR FROM A PICTURE
6 _____
7 with the processing:
8 DF_TRANSYN_VOICE_02
9 DF_TRANSYN_select_color02
10 DF_TRANSYN_select3color02
11 _____
12 FOR LED ANODE
13
14 */
15
16 int Red = 11;
17 int Green = 10;
18 int Blue = 9;
19 int r ;
20 int g ;
21 int b ;
22 void setup()
23 {

```

```

24 Serial.begin(9600);
25 pinMode(Red,OUTPUT);
26 pinMode(Green,OUTPUT);
27 pinMode(Blue,OUTPUT);
28 }
29 void loop()
30 {
31 if(Serial.available()==9) // each data has 9 elements
32 {
33 r=(Serial.read()-48)*100 ;// first data for r
34 r=r+(Serial.read()-48)*10;// 2 data for r
35 r=r+(Serial.read()-48);// 3 data for r
36
37 g=(Serial.read()-48)*100 ;
38 g=g+(Serial.read()-48)*10;
39 g=g+(Serial.read()-48);
40
41 b=(Serial.read()-48)*100 ;
42 b=b+(Serial.read()-48)*10;
43 b=b+(Serial.read()-48);
44
45 int empty = Serial.read();
46 }
47 analogWrite(Red,255-r);
48 analogWrite(Green,255-g);
49 analogWrite(Blue,255-b);
50 }

```

The concept here is how to map the colors of your synaesthesia, to generate the “synaesthetic unit”; in this case rather than search the values of the RGB colors, you can select directly the colors in your pc, from a image that can be a RGB palette, or any other image... a draw... a photo; this case is more immediate than the other and easier to use from anyone.

- Reference: colors values by adafruit

Code 7a

Selecting a Color from a Picture and Sending it to an Anode RGB

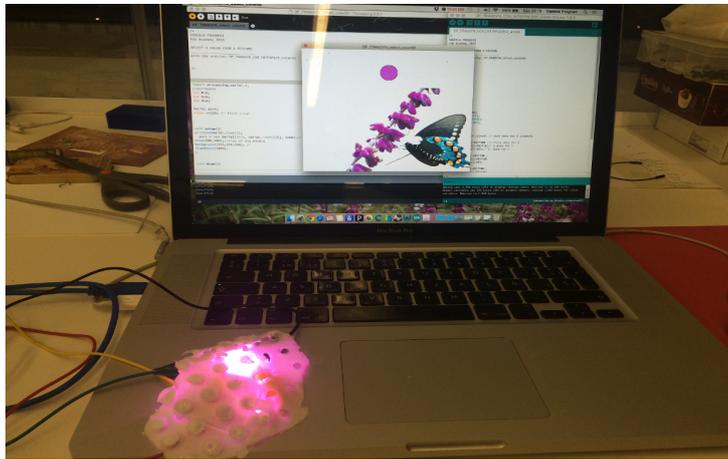


Figura al.4- Daniela Frogheri:

led RGD que adquiere el color seleccionado desde una foto.

```
1 /*
2 DANIELA FROGHERI
3 Fab Academy 2015
4
5 SELECT A COLOR FROM A PICTURE
6 _____
7 with the arduino: DF_TRANSYN_CON INTERFACE_color02
8
9 */
10
11 import processing.serial.*;
12 //atributos
13 int R=0;
14 int G=0;
15 int B=0;
16
17 Serial port;
18 color c=255; // first color
19
20
21
22 void setup(){
23   println(Serial.list());
24   port = new Serial(this, Serial.list()[5], 9600); // [5] is my port; is necessary to select the
   port tha you are using
```

ENTRE EL PENSAR Y EL HACER AVANZADOS

```
25 size(600,500);//size of the window
26 background(255,255,255); //
27 frameRate(1000);
28 }
29
30
31 void draw(){
32
33 //catch a color from an image and put into the circle
34 PImage azzurra; // the picture has to be saved in the folder of this schetch
35 azzurra=loadImage("azzurra.jpg");
36 image(azzurra,150,150);
37 fill(c);
38 ellipse (300,90,60,60);//circle to show the color selected
39
40
41 //action botton
42 if(mousePressed){
43
44 //to catch the color from the photo
45 if(mouseX>150 && mouseX<450 && mouseY>150
    && mouseY<450){
46 c = get(mouseX,mouseY);//to obtain the value
47
48
49
50 //RGB to send in serial
51 R = (int)red(c);
52 G = (int)green(c);
53 B = (int)blue(c);
54 println(c); // the thing that prints
55 }
56 }
57 // the string to send to arduino by serial
58 String out = nf(R,3) + nf(G,3) + nf(B,3);// all the colors has 3 elements
59 println(out); // console
60 port.write(out); // for the serial port
```

Code 7b

Selecting a Color from a Picture and Sending it to an Anode RGB

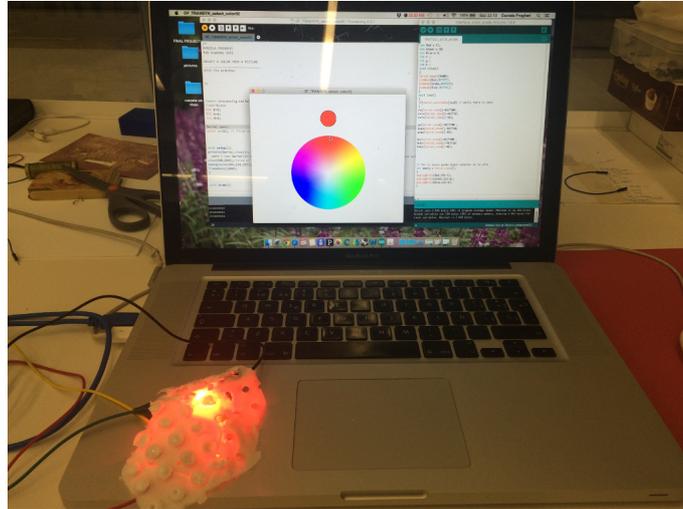


Figura al.5- Daniela Frogheri:

led RGD que adquiere el color seleccionado desde una imagen.

```
1 /*
2  DANIELA FROGHERI
3  Fab Academy 2015
4  SELECT AND MAP COLORS FROM A PICTURE */
5  import processing.serial.*;
6  //atributos
7  int R=0;
8  int G=0;
9  int B=0;
10 char parola;
11 int valore;
12 int i;
13 Serial port;
14 color c1=255;
15 color c2=255;
16 color c3=255;
17 void setup(){
18   println(Serial.list());
19   port = new Serial(this, Serial.list()[5], 9600); // [5] is my port; is necessary to select
20     the port tha you are using
21   size(600,500);
22   background(255,255,255);
23   frameRate(1000);
24 }
```

```

1 void mouseClicked() {
2   valore = valore+1;
1 }
1 void draw(){
1 //TEXT
2 fill(192,192,192);
3 PFont font = loadFont("SansSerif-48.vlw");// save the font
4 textFont(font,28);
5 text("a",190,60);
6 text("b",290,60);
7 text("c",390,60);
8
9 //catch the colors from an image and put into the circles
10 PImage cerchio2;
11 cerchio2=loadImage("cerchio2.jpg");
12 image(cerchio2,150,150);
1 fill(c1);
2 stroke (c1);
3 ellipse (200,100,50,50);
1 fill(c2);
2 stroke (c2);
3 ellipse (300,100,50,50);
1 fill(c3);
2 stroke (c3);
3 ellipse (400,100,50,50);
1 //action botton
2 if(mousePressed){
3 //color from the picture
4 if(mouseX>150 && mouseX<450 && mouseY>150
   && mouseY<450){
5   if(valore == 0){
6     c1 = get(mouseX,mouseY);
1   } else if (valore == 1){
2     c2 = get(mouseX,mouseY);
1   }else if (valore == 2){
2     c3 = get(mouseX,mouseY);
3
4
5   }
1   if(mousePressed){
2   if(mouseX>150 && mouseX<200 && mouseY>100
   && mouseY<150)
3   {
4   c1 = get(mouseX,mouseY);//obtener valor del color}
1   }
2   }
3   }

```

```
1 //RGB to send in serial
2 if (valore == 0){
3 R = (int)red(c1);
4 G = (int)green(c1);
5 B = (int)blue(c1);
6 println(c1);
1 } else if (valore == 1){
2 R = (int)red(c2);
3 G = (int)green(c2);
4 B = (int)blue(c2);
5 println(c2);
1 } else if (valore == 2){
2 R = (int)red(c3);
3 G = (int)green(c3);
4 B = (int)blue(c3);
5 println(c3);
1 }
2 // the string to send to arduino by serial
3 String out = nf(R,3) + nf(G,3) + nf(B,3);// all the colors has 3 elements
4 println(out); // console
5 port.write(out); // for the serial port
6 }}
7
```

Code 8: Voice, Color & Light

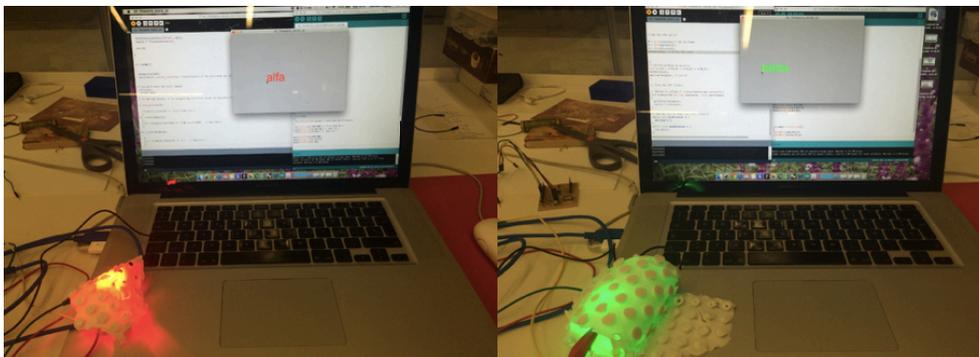


Figura al.6- Daniela Frogheri:

led RGD que adquiere el color de la palabra que se pronuncia.

Mapping color; sound; processing and Arduino IDE

The sounds are elements very important in the world of synaesthesia; they can be related with taste, smell, shapes, textures... and colors of course; the sounds can be music, noise, a machine working, animals... but here now the focus is the language, and for this, I decided to use a voice speaking. At first I thought to record some words and associating them with colors; but in this way it would had been a “closed world” able to work only with some specific sounds that you have saved before. I thought that this option will had be too limited.

My idea was to do something more immediate, to show in real time the color of the word that you are telling; another thing very important for me is to do something that doesn't works not only with pre-established words, but with any word! I though to record some simple sounds (phonemes) associating colors with each frequency... it was a good idea, but researching about, I discovered that now it was really impossible for me to do it...! Is not a work for one person, and in a short time! I felt ingenuous too... because the world of sounds joined with the language... generating all on real time for any word... is something really complicated! But in my researches, I

found a good new! The think that I was trying to invent... is the speech recognition! Obviously it exist... and I can use it; The best option that I found is this one:

- **STT-Processing:** <https://github.com/getflourish/STT>;

It is very powerful... very precise and can be used for anyone in any language!

The code runs in Processing, and when you talk, it writes the word (or letter, or number)... I modified the code, and “catching” the word that it generates; using all the things that I experimented before mapping the colors, doing the interface and sending to the led with Arduino, and “catching” the word that it generates.

This process was not so easy for me; at first I was trying to send the world to my code in Arduino; but finally the best way was to rewrite it in Processing, using Arduino only for the part that controls the led.

The code, for now is personalized with my own synaesthesia, but can be mapped from anyone.

```
1 /*
2 DANIELA FROGHERI
3 Fab Academy 2015
4 THE COLOR OF THE VOICE:
5 voice+text+color
6 _____
7 when you talk the led takes the color of your world mapped in according with
8 your synaesthesia
9 _____
10 with the arduino:
11 DF_TRANSYN_con_interface02
12 _____
13 FOR LED ANODE
14 */
15 import processing.serial.*;
16 int R=0;
17 int G=0;
18 int B=0;
19 int x;
20 // speek recongition: STT library
```

```

1 import com.getflourish.stt.*;
1 STT stt;
2 String result;
3 String key = "xxx"; // put here your API code
1 // data for the serial
2 Serial port;
3 color c1=255;
1 void setup(){
2 println(Serial.list());
3 port = new Serial(this, Serial.list()[5], 9600);// put here your serial port []
4 size(600,400);//
5 background(255,255,255);
6 frameRate(100);
1 // press a key and talk
1 stt = new STT(this, key);
2 stt.enableDebug();
3 stt.setLanguage("es-MX");
4
5 //first text
1 textFont(createFont("Arial", 60));
2 result = "TransSynaesthesia";
3
4 x=x+20;
1 }
1 void draw(){
1 background(200);
2 text(result, mouseX, mouseY);// transcription of the word that you tell
1 // the word takes the color mapped
2 fill(c1);
3 stroke(c1);
1 // TO MAP THE COLORS: it is recognizing the first letter of the word in according
    with my synaesthesia
1 if (mousePressed){
1 if(result.charAt(0) == 'a') // map the a
2 {
3 c1 = color(255,0,0);
4 }
5 else if(result.charAt(0) == 'b'&& mouseX>100) // map the b
6 {
7
8 c1 = color(0,255,0);
1 }
2 else if(result.charAt(0) == 'c') // map the c
3 {
4 c1 = color(255,200,0);
1 }
2 else if(result.charAt(0) == 'd') // map the d

```

```

3 {
4 c1 = color(255,0,255);
• }
• else if(result.charAt(0) == 'e') // map the e
• {
• c1 = color(0,100,255);
– }
• else if(result.charAt(0) == 'f') // map the f
• {
• c1 = color(255,80,0);
• }
• else
• {
• c1 = color(255,255,255); // if it is another letter, white
• }
– //rgb for the serial
• R = (int)red(c1); // int to float
• G = (int)green(c1);
• B = (int)blue(c1);
• println(c1); // write the color
1. }
2. // string sending to arduino
3. String out = nf(R,3) + nf(G,3) + nf(B,3);
4. println(out);
5. port.write(out); // serial
6. }
1. // from the STT library
2. // Method is called if transcription was successful
3. void transcribe (String utterance, float confidence)
4. {
5. println(utterance);
6. result = utterance;
7. }
8. // Use any key to begin and end a record
9. public void keyPressed () {
10.     stt.begin();
11.     }
12.     public void keyReleased () {
13.         stt.end();
14.     }

```

El presente anexo se ha recogido publicado en:

http://fabacademy.org/archives/2015/sa/students/frogheri.daniela/15-interface_and_application_programming.html
(consultado el 13.10.2017).