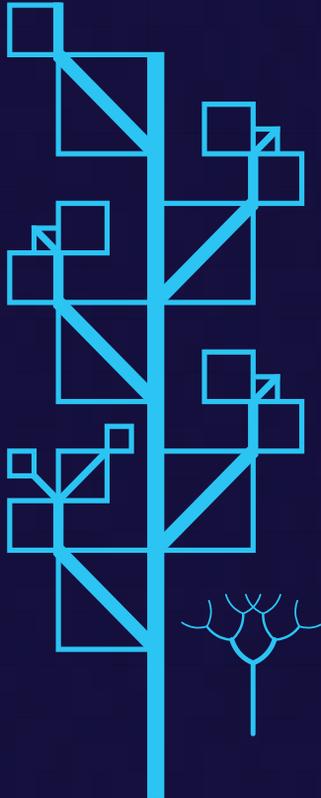


Morfogénesis arquitectónica y disciplinariedad cruzada

Naturaleza, mecánica y lúdica



Lucas Peries y
Silvina Barraud
(directores)



MORFOGÉNESIS ARQUITECTÓNICA
Y DISCIPLINARIEDAD CRUZADA

MORFOGÉNESIS ARQUITECTÓNICA Y DISCIPLINARIEDAD CRUZADA

Naturaleza, mecánica y lúdica

Lucas Peries y
Silvina Barraud
(directores)
Natalia María Colombano
Carlos Merlo
Álvaro Coria
Lucas Cuevas
Jimena Berezovsky

Con la colaboración de:
Rodrigo Alarcón
Sergio Benezam
Valentín Brügger
Nicolás Fernández
Vinicio Lombardi
María Noelia Mattio
María Florencia Recio



Universidad
Nacional
de Córdoba



editorial

Autoridades UNC

Rector

Mgter. Jhon Boretto

Vicerrectora

Mgter. Mariela Marchisio

Secretario General

Ing. Daniel Lago

Prosecretaria General

Dra. Ing. Agr. Paola Andrea Campitelli

Director de Editorial de la UNC

Dr. Marcelo Bernal

Morfogénesis arquitectónica y disciplinariedad cruzada: naturaleza, mecánica y lúdica / Lucas Peries [et al.]; Contribuciones de Rodrigo Alarcón ... [et al.]. Dirigido por Lucas Peries; Silvina Barraud; Prólogo de Javier Fernández Castro. - 1a ed - Córdoba: Editorial de la UNC, 2024.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: online
ISBN 978-987-707-307-2

1. Arquitectura. 2. Morfología. 3. Educación. I. Peries, Lucas, dir. II. Alarcón, Rodrigo, colab. III. Barraud, Silvina, dir. IV. Fernández Castro, Javier, prolog.
CDD 720.1

Diseño de colección y portada: **Lorena Díaz**

Diagramación: **Marco J. Lio**

Edición: **Laura Yawien**

Coordinación editorial: **Lorena Díaz**

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723
Universidad Nacional de Córdoba, 2024

ÍNDICE

Prólogo. Develadores de estrategias <i>Javier Fernández Castro</i>	11
Introducción <i>Lucas Peries</i>	15
Capítulo 1. Disciplinarietàad cruzada <i>Silvina Barraud, Lucas Peries</i>	19
Capítulo 2. Orden geométrico complejo y trazados reguladores <i>Lucas Peries</i>	33
Capítulo 3. Ramificación <i>Natalia María Colombano y Lucas Peries</i>	45
Capítulo 4. Cinemática <i>Carlos Merlo</i>	77
Capítulo 5. Cimática <i>Álvaro Coria</i>	99
Capítulo 6. Teoría de Juegos <i>Lucas Cuevas y Jimena Berezovsky</i>	131
Reflexiones <i>Lucas Peries y Silvina Barraud</i>	161
Referencias bibliográficas	165
Sobre los/as autores	171

A cada estudiante de los ciclos 2019 a 2021, que con su entusiasmo y curiosidad nos permitió abrir nuevos caminos y resultados.

PRÓLOGO

DEVELADORES DE ESTRATEGIAS

Javier Fernández Castro
Director del Instituto de la Espacialidad Humana
Universidad de Buenos Aires

Para el diverso y amplio colectivo de aquellos que nos dedicamos al oficio de proyectar, desde y para estas regiones australes, la noticia de un nuevo trabajo del grupo coordinado por Lucas nos plantea la urgente, ineludible y feliz tarea de aprehenderlo.

En nuestro medio suelen abundar las mostraciones descriptivas y pocas veces críticas de obras recién concluidas, constituyendo un repertorio de imágenes que satura indiscriminadamente cerebros, impresos y redes. En cambio, escasean los relatos acerca de la propia práctica del proyectar que las originó, los materiales manipulados y las estrategias adoptadas que siempre están por detrás del resultado. Ya el maestro Paulo Freire (2002) nos confesaba aquello de:

...siempre estuve convencido que detrás de todo producto cultural existen densas tramas de sentido, múltiples razones de ser. Será por lo que, a lo largo de mi vida, me han interesado tanto las circunstancias de su generación como los objetos producidos en sí. Este doble interés me ha acercado a comprenderlos más acabadamente.

Pretendemos, siguiendo al gran pedagogo latinoamericano, ser productores conscientes en la búsqueda permanente de perfeccionamiento.

Nos ha tocado pertenecer a una generación que a fuerza de crisis proyecta, construye, gestiona, enseña e investiga: todo a la

vez y sin otro prejuicio más que la necesidad de crítica. Por lo tanto, nos urge y define el no quedar satisfechos con las apariencias. Nunca renegaremos de las imágenes, nuestros puntos de partida y llegada, pero siempre querremos saber además lo que existe entre medio, esto es ni más ni menos que el querer dominar lo más acabadamente posible sus procesos productivos.

La investigación proyectual acude entonces en nuestra ayuda para abrirnos las puertas de la fábrica que permanecía a la retaguardia del local de exhibiciones, permite develar instrumentos, materias primas, procedimientos y, si porfirmos en estos esfuerzos, hasta sentidos. Aquí aparecen dos rutas básicas, ambas transitadas brillantemente por este equipo:

- Construir un repertorio novedoso y ordenado, a partir de clasificar su diversidad desde un posicionamiento explícito, tomando lo construido como dato desde el cual develar su génesis.
- Experimentar con los procedimientos de base para comprender sus potencias y limitaciones, sumergiéndose en las lógicas de diversas estrategias proyectuales como generadoras de forma.

Se trata en esta dualidad sinérgica de partir del objeto para develar sus causales o desde los procedimientos explorar los posibles objetos. Dos vías complementarias o mejor aún concurrentes en el afán de asir los extensos y variables contextos de la práctica.

Textos precedentes del equipo, liminares preciaría con justificada admiración, nos han propuesto una “Estereotomía y Topología” (Peries, 2016) sobre la arquitectura regional reciente, uniendo al cuidado repertorio un obsesivo afán clasificatorio de operaciones morfológicas fundantes, abonando el primer camino. Allí lo construido es el dato desde el cual develar las estructuras ocultas.

Aquí en “Morfogénesis” se da vuelta la premisa. No se trata de develar lo ya presente sino de los modos de hacer emerger lo aun ausente. La realidad aparece entonces no sólo como un dato a complejizar sino como una construcción. Se nos recuerda la abierta posibilidad, lo procedimental cobra protagonismo y muestra sus cartas. En definitiva, se explora una de las esencias de lo proyectual, cómo pensar y hacer presente algo que no estaba en el mundo.

En este afán todo es lícito, todo vale, y el recurrir a otros saberes es más que bienvenido. La aguda distinción entre transdisciplina y tras-disciplina que introduce los trabajos permite tomar desprejuiciada, lúcida y lúdicamente en metáfora nominaciones y categorías de otras disciplinas para traducirlas en procedimientos proyectuales. Es la bienvenida “disciplinarietà cruzada” mentada en el título.

Desde la ya incorporada y patrimoniada geometría como saber de organización y generación, hasta la exploración de isomorfismos varios con la física, la geografía, la biología, y/o incluso la teoría de juegos, se permiten aquí desarrollos inéditos y sugerentes, que demuestran que ha valido la pena y la alegría transitarlos en permanente apertura procedimental.

Y hablando de procedimientos, qué mejor que someter una exploración proyectual a sus múltiples interpretaciones en ejercicios de grado. He aquí los más que interesantes resultados.

El procedimiento de explorar los procedimientos, el meta-procedimiento que hace concurrir investigación y enseñanza sin prejuicio, permite enriquecerse mutuamente superando compartimentaciones burocráticas y epistémicas entre nuevos y viejos paradigmas.

Sólo así se produce conocimiento, confiando las hipótesis iniciales al conjunto para que las apropie, reversione y supere. Para que florezcan las “mil flores” y en ese ida y vuelta, en la iteración también mentada en los trabajos, se vaya puliendo el método.

No faltarán los que desde una posición auto percibida como “correcta” criticarán la ausencia de variables contextuales en estas búsquedas. Contestaría que no es su objetivo. E iría más lejos aún. Afirmaría que no hay abordaje posible de los contextos para los proyectistas sino es desde y para las formas, algunos de cuyos procedimientos generadores bien sabemos hace tiempo que no surgen sólo de sitio y programa, sino orgullosamente también desde sus lógicas internas que debemos necesariamente dominar.

Preferiremos siempre esta actitud sincera y reveladora a la letanía de ocultar caprichos en sesudos textos sociales. Va siendo hora de que nuestras disciplinas se hagan cargo sin culpa y con orgullo de que partes de nuestros procedimientos tienen lógicas internas subyacentes que les son propias y no vienen de prestado desde otros campos del saber.

¿Qué tarea más revolucionaria que la que llevan a cabo estos develadores de estrategias? Nos están empoderando con nuevas herramientas, están poniendo a nuestro alcance caminos de exploración de los que en estos ejemplos seleccionados se vislumbran prometedoras continuidades y extensiones. A transitarlos en casa. Gracias por todo esto. Seguramente don César Naselli nos sonrír desde algún lugar complacido por estas nuevas picardías.

INTRODUCCIÓN

Lucas Peries

Este libro forma parte de los resultados del trabajo integrado de investigación científica y enseñanza universitaria, desde la implementación de la experimentación proyectual como recurso de articulación. En tal sentido, la práctica de investigación¹ se produce en vinculación directa con la de educación, por medio de ensayos proyectuales y validaciones hipotético-deductivas. Las actividades se realizan en el ámbito de la carrera Arquitectura de la Universidad Nacional de Córdoba; Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño.

La temática que se aborda afronta la relación específica entre los órdenes geométricos y la generación de la forma arquitectónica, con intención de aportar herramientas generativas que participen de modo activo durante el proceso de enseñanza y aprendizaje de la morfología. A partir de la búsqueda en otros campos disciplinares, de aquellas leyes y principios que favorecen el desarrollo de trazados geométricos, el enfoque metodológico de transferencia de conocimientos o disciplinariedad cruzada es lo que posibilita un acercamiento concreto y original a las relaciones expuestas -cuestión que se desarrolla en el capítulo 1-.

1 Investigación titulada: “Órdenes geométricos y disciplinariedad cruzada en la generación de la forma arquitectónica contemporánea”. Director: Peries, L. Codirectora: Barraud, S. Investigadores: Berezovsky, J.; Colombano, N.; Coria, A.; Cuevas, L.; Mattio, N.; Merlo, C. Proyecto con subsidio SeCyT-UNC, período 2018-2022.

La investigación es de carácter cualitativo y el diseño metodológico es bibliográfico, exploratorio y experimental. En una primera instancia, se transita por una fase documental desde la búsqueda y clasificación de casos multidisciplinares. Y en una segunda instancia, el trabajo se sitúa en el marco de la investigación proyectual, en la cual se indaga para generar conocimientos mediante el uso del propio proyecto y su proceso de generación, desde la transferencia y experimentación de los principios detectados en la instancia predecesora.

Las prácticas experimentales se realizan en el marco de la cátedra de Morfología II B, bajo la dirección de quien suscribe y la codirección de Silvina Barraud. Es objetivo de la propuesta pedagógica y del proyecto científico aunar enseñanza e investigación en un sistema simultáneo y recíproco de producción y retroalimentación. El conocimiento se genera en ambos ámbitos, en distintas instancias del trabajo, lo cual permite concentrar esfuerzos y enriquecer resultados. Tal como expresa Pokropek “...se aprende a hacer proyectos proyectando” (2020: 115), y del mismo modo, se aprende a investigar investigando. Con relación al vínculo entre el ejercicio proyectual y la investigación-creación Pava-Gómez, Betancur-Villegas y Páez-Calvo plantean que “...dichas nociones deben estar articuladas de manera tangible para dar cuenta de la tensión que posibilita su determinación” (2018: 90). Por otro lado, esta configuración didáctica se opone al modelo clásico de transmisión de dogmas y repetición de ejercitaciones con respuestas preestablecidas, razón por la que se afronta la experimentación proyectual en los procesos de enseñanza y de aprendizaje.

El trabajo aborda distintas líneas de conocimiento provenientes del estudio de fenómenos naturales, mecánicos y comportamientos humanos en juegos o deportes, desde las disciplinas base: biología, física, hidrología, matemática, medicina y meteorología. Como modalidad operativa, para el abordaje de las teorías y sus lógicas de orden, en referencia a las distintas líneas temáticas que se afrontan desde el cruce disciplinar, cada una de

ellas está a cargo de integrantes del proyecto. Quien coordina un subequipo trabaja de modo concentrado a una temática -desde la realización de estudios y prácticas específicas- junto a un grupo de estudiantes y colaboradores que realizan adscripción -tanto a la cátedra como al proyecto de investigación-. Estas líneas temáticas son las que constituyen los capítulos venideros, bajo el título de su propia denominación.

Al tratarse de un contexto universitario masivo, en cada ciclo anual se trabaja con diez comisiones integradas por un promedio de 50 estudiantes. El estudiantado participa co-investigando, en diálogo y trabajo conjunto, con una metodología que se aborda desde la observación directa y el registro de los fenómenos y procesos que acontecen. Ante la presentación de las distintas temáticas -como base conceptual- y las consignas de trabajo -como base operacional-, se desarrolla el planteamiento colectivo de hipótesis de trabajo, para experimentar en relación con ellas, desde la búsqueda de respuestas y comprobaciones. Esta estrategia científico-pedagógica que entremezcla saberes, según el sentido que le confiere la conceptualización de la “disciplinariedad cruzada”, permite construir conocimiento desde la propia experimentación en las aulas, las cuales se convierten en taller-laboratorio. El rol de la participación estudiantil es clave, cuestión por la cual al final de cada capítulo se incluye la selección de reseñas de aquellas producciones más representativas de cada línea de estudio.

La posibilidad de compartir en el formato de libro el conocimiento producido entre 2018 y 2021 -periodo de infortunio planetario con relación al estado pandémico y las dificultades que acarrea para las prácticas universitarias, particularmente en las asignaturas de carácter proyectual- se orienta a hacer extensivos los resultados y con sentido didáctico para quienes afrontan el desafío de la morfogénesis, no sólo en la arquitectura, sino en cualquier área del extenso territorio del diseño.

CAPÍTULO 1

DISCIPLINARIEDAD CRUZADA¹

Silvina Barraud, Lucas Peries

Esta publicación apunta a exponer una investigación que explora principios de orden alternativos a los que se emplean habitualmente en la enseñanza de la morfología arquitectónica. Con el trabajo se procura, tal como expresa Litwin, “...avanzar en una construcción teórica que permita analizar las propuestas de enseñanza habituales desde otra mirada” (2016: 203). En ese marco, resultan de interés las estructuras conceptuales y técnicas que se alojan en campos de conocimiento externos para su traspaso a la disciplina propia. La atención se centra en: física, matemática, biología, medicina, hidrología y meteorología. El sentido de explorar en estas disciplinas se orienta a identificar patrones con potencial para su ensayo y sistematización por medio de prácticas que favorezcan la indagación y contribuyan a la generación morfológica. La búsqueda de antecedentes trasciende los conocimientos recientes. Se considera oportuno revisar casos del pasado, particularmente aquellos que pueden actualizarse para aportar claves inéditas al contexto disciplinar particular.

En cuanto a la metodología, el desafío propuesto, se aborda mediante el enfoque de la disciplinariedad cruzada, uno

¹ Este capítulo es una adaptación del artículo científico “Trasdisciplinariedad en la enseñanza e investigación de la generación de formas arquitectónicas” desarrollado por el mismo equipo autorial y publicado en el volumen 5, N° 3, de la revista científica *Projetar: Projeto e Percepção do Ambiente*, septiembre de 2020.

de los más recientes en el tejido de las relaciones disciplinares. En 1970 Piaget aborda el término “transdisciplinar” y desde entonces se han definido siete escalas como alternativas y posibilidades de relaciones disciplinares: transdisciplinar, interdisciplinar, polidisciplinar, pluridisciplinar, multidisciplinar, interdisciplinar y monodisciplinar. Desde finales de la década de 1980 emerge el concepto de “disciplinariedad cruzada”, el que recientemente es definido por Margery-Bertoglia (2019) como un acto que implica que una disciplina sea “vista” desde la perspectiva de otra.

La disciplinariedad cruzada

La disciplinariedad cruzada o unidireccional, como la califican Di-Castri y Hadley (1986), deriva del término en lengua inglesa: *crossdisciplinarity*. El mismo carece de traducción literal en español, por lo que se opta por aplicar el prefijo tras-, con su significación “a través de” y se propone la expresión “trasdisciplinariedad”, en distinción de transdisciplinariedad, que emplea el prefijo trans-, con significado “al otro lado de”. A partir de esa primera disgregación clarificadora, los términos pueden diferenciarse del siguiente modo:

Trans-disciplina significa que la solución a un problema, en los campos científicos y proyectuales, resulta de la generación y establecimiento de axiomas y métodos que se utilizan de modo conjunto por distintas disciplinas, con relaciones de construcción aunada, con un punto de vista epistemológico, con razones y objetivos únicos, los que orientan los esfuerzos de sus participantes -con procedencia o no de ámbitos académicos- sobre un tema común. Se trata, por ejemplo, de la acción conjunta de profesionales de la arquitectura, la biología y la geología para la realización de un estudio de paisaje. Un

equipo transdisciplinario es holístico y busca relacionar las disciplinas en un todo coherente y unificado. Nicolescu define a ese proceso como: “Transgresión jubilosa de las fronteras entre las disciplinas, sobre todo en el campo de la docencia, para superar la pluri y la interdisciplinariedad” (1996:11). La misma permite sortear la fragmentación del conocimiento, más allá del enriquecimiento de las disciplinas con diferentes saberes (multidisciplina) y del intercambio epistemológico y de métodos científicos de los saberes (interdisciplina). Su valor reside en la interpretación de una disciplina desde la perspectiva de otra; esto refiere a que involucra la conjunción de conocimientos y métodos, a partir de una síntesis de sus enfoques. Esta teoría es producto de la reflexión filosófica renovada por los descubrimientos de la física cuántica desde los albores y a lo largo del siglo XX, así como, más recientemente, por el advenimiento de las nuevas ciencias de la información y el desarrollo de la teoría general de sistemas a partir de la segunda mitad del siglo pasado. Se trata de un “proceso reflexivo en marcha e inacabado” (Sarquis y Buganza, 2009: 44). El reto de la transdisciplina “...es romper la realidad fragmentada por la disciplinarización del saber, para crear un corpus de conocimiento que trascienda cualquier disciplina” (Sánchez-Yustos, 2014: 13).

Tras-disciplina significa que la solución a un problema, en los campos científicos y proyectuales, resulta del cruce o utilización de axiomas y métodos de una disciplina por parte de otra, con razones y objetivos diferentes sobre un tema de interés que pueden tener en común o no, como un modo de interpretación o reinterpretación con motivo de un objetivo disciplinario específico. Se emplea para realizar fundamentaciones sobre los aspectos de un problema en una disciplina, desde los términos de otra. Se trata, por ejemplo, de la acción de profesionales de la arquitectura para realizar un estudio disciplinar

desde los axiomas de la geología. Un equipo “trasdisciplinario” es reduccionista -como antónimo de holístico- y puede ser monodisciplinar, busca producir conocimientos a través de saberes que se han desarrollado previamente en otras disciplinas. La construcción por disciplinariedad cruzada parte del análisis de un objeto de conocimiento general y establece, a partir de este, la posible concurrencia disciplinaria para la producción de conocimiento propio. Se refiere a un proceso de tránsito que articula, integra y relaciona conocimientos que trascienden los análisis especializados o particulares al mismo campo de conocimiento. En este marco conceptual, las disciplinas actúan en términos de atravesamiento y de medio para, “a través de” determinado conocimiento externo, desarrollar la generación del conocimiento interno. Con este enfoque cultural y científico se observan las actuaciones y las interacciones entre los distintos saberes, en la transferencia de conceptos y experiencias de una disciplina a otra.

La disciplinariedad cruzada es caracterizada por De-Pablos-Pons como “...puente de tránsito entre diferentes compartimentos del saber, que posibilita un conocimiento más abarcador por ser interactivo” (2006: 84). Por otra parte, el concepto conlleva un acercamiento con base en una postura de fuerzas (Torres-Santomé: 1994); y a partir de ello la posibilidad de comunicación no es equilibrada, ya que determinadas fuerzas se presentan de modo dominante sobre las otras y las traccionan. La disciplina que genera el cruce asume la tracción de las demás y define ese “tránsito”, en determinadas circunstancias, a partir de niveles previos a la interdisciplinariedad. También en la línea de la “trasdisciplina” Arnaud, Maniez y Renner (2012) refieren a la idea de *blend*, término inglés que puede ser traducido como “mezcla o combinación”. En esa dirección se produce mixtura de categorías conceptuales, leyes, instrumentos, herramientas y técnicas para la generación de conocimiento integral.

La disciplinarietà cruzada en arquitectura

En cualquier arte [y en la arquitectura], los medios de regeneración deben ser externos. Casi siempre proceden de fuera del ámbito de la alta cultura y son remotos en el espacio y en el tiempo. Los impulsos renovadores, cuando no de una apelación directa a la naturaleza, proceden del arte arcaico. (Muñoz, 2010: 11)

Con la cita introductoria de este apartado comienza el libro *La mirada del otro*, de Muñoz (2010). Y se la recolecta con la intención de expresar el propósito y sentido preciso de renovación que se persigue con el abordaje de la “trasdisciplina” en el campo de enseñanza de la morfología arquitectónica. Quintanilla y Vidal plantean que “un investigador determinado se considerará especialista en un campo científico en particular, pero para trabajar en esa área necesita dominar y poder utilizar métodos y resultados provenientes de varias disciplinas diferentes” (2000: 54).²

La complejidad actual requiere abordar y valorar los fenómenos de manera interconectada, con perspectivas amplias, y la morfología arquitectónica no es ajena a la necesidad de incorporar esta visión, mientras como disciplina también es parte de la conformación de otras. En lo que respecta específicamente al campo de la morfología, Doberti describe la relación entre forma e interdisciplina y plantea que: “La morfología primera se ocupa de la lógica de la conformación, se centra en ella y sólo atiende a los escalones necesarios para alcanzar la forma” (2008:108). A esa morfología, específicamente, la caracteriza como “filosófica”. El autor también expone que “la forma es generadora de las disciplinas y posibilitadora de la

2 Traducción del autor. “*A given researcher will consider himself to be a specialist in a particular scientific field but in order to work in that area he needs to master and to be able to use methods and results coming from several different disciplines.*”

interdisciplina, así como habilitadora de la penetración de los límites” (Doberti, 2008:109).

En la historia de la arquitectura, principalmente desde el siglo pasado, se reconocen múltiples antecedentes del ámbito educativo que exploran la transferencia de saberes en el desarrollo del proceso de diseño. La Bauhaus (1919-1933), la Escuela de Artes y Oficios de Basilea (1944-1964) o el Instituto del Diseño de la Universidad Católica de Córdoba (1990-2015) son tres ejemplos representativos y vanguardistas que produjeron aportaciones paradigmáticas, cada cual con su impronta. En el medio profesional también se desarrollan procesos proyectuales con influencia en conocimientos multidisciplinares, tanto de modo racional y consciente como desde la intuición creativa. Existen profesionales que involucran relaciones con otros campos del saber, a partir del establecimiento de figuras metafóricas, por analogías o desde la transferencia de métodos o técnicas precisas. La arquitecta Banchio (2012), en su trabajo final de posgrado, estudia antecedentes relevantes de la cultura arquitectónica: Peter Eisenman y el vínculo con las artes plásticas en el proyecto de la *Casa VI Cornwall*, desde el arte conceptual; Steven Holl con la música en la *Casa Stretto*, desde la música para cuerdas, percusión y celesta; Toyo Ito con la biología en la *Mediateca de Sendai*, desde la algología y Herzog & de Meuron con la fotografía para el *Museo de Young*, desde la edición de imagen digital. En todos estos casos de relevancia internacional, se trata de trabajos en los que se reconocen prácticas concretas de transferencia disciplinar y con desarrollos proyectuales paradigmáticos, desde la instancia de morfogénesis a la obra construida. Al mismo tiempo, aportan configuraciones de singular y original morfología.

Estos antecedentes son inspiradores de las lógicas de trabajo que en este libro se exponen, como resultado de la investigación

unada a la enseñanza. La tarea profundiza en el estudio del proyecto y la generación de su forma, en experiencias didácticas con estudiantes del segundo nivel de la carrera de Arquitectura. Tal como plantea Litwin: “Investigar en el aula presupone llevar a cabo un proceso de construcción teórica que permite a los docentes realizar una reflexión más profunda sobre las actividades que se promueven, sus consecuencias y sus implicaciones” (2016: 203). En este caso, las implicancias atañen al proceso proyectual arquitectónico. Estos trabajos son de transferencia y de retroalimentación directa a la investigación y se complementan con los conocimientos “trasdisciplinarios”. Se trabaja a partir de un acercamiento al método fenomenológico. Se destaca la observación de los sucesos y fenómenos que transcurren durante las acciones de experimentar y proyectar.

La experimentación proyectual

La investigación tiene su transferencia y puesta en práctica desde la experimentación proyectual en el contexto académico. “Experimentar en circunstancias proyectuales consiste en confirmar o refutar hipótesis, al igual que en el método científico clásico; en este caso, mediante el ejercicio, la prueba, el ensayo y el estudio del proyecto y su proceso” (Periés, 2017: 535). Al respecto, interesa la realización de ensayos que transfieran los principios detectados en los saberes de las distintas disciplinas para la lectura y decodificación en patrones geométricos, los que resultan del entendimiento de hechos o fenómenos botánicos, neurológicos, ceraunológicos, hidrográficos, matemáticos, mecánicos y acústicos. En la figura 1 se presenta la estructura de relaciones disciplinares que se estudia. Este mapa expone el abordaje desde las áreas disciplinarias generales hasta la clasificación de los patrones que se aplican.

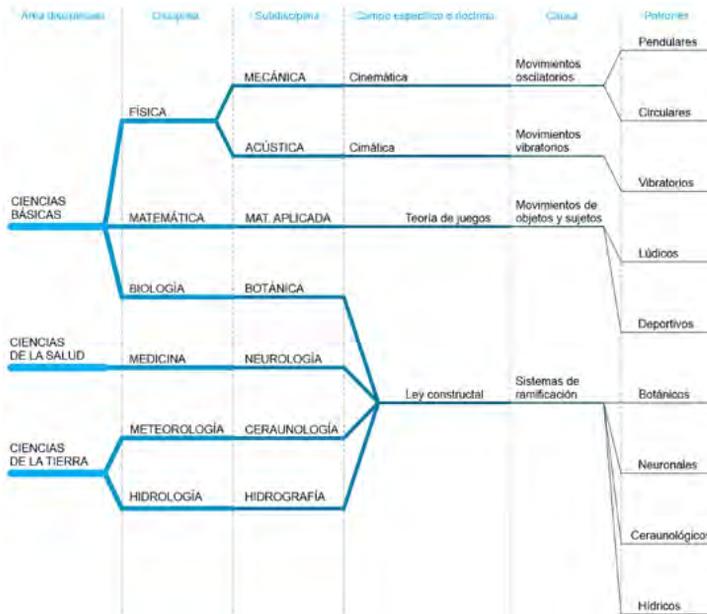


Figura 1. Mapa síntesis de relaciones disciplinares y clasificación de patrones geométricos. Peries, 2022.

A continuación, se reseñan las líneas temáticas de estudio. A los efectos de simplificar su tratamiento, algunas de ellas se agrupan por relación de afinidad o similitud.

Sistemas de ramificación

En primer lugar, se abordan los sistemas de ramificación. En ellos convergen de modo asociado saberes provenientes de la hidrología, meteorología, medicina y biología, que devienen del estudio de formas o fenómenos naturales. Los sistemas de ramificación se manifiestan en la naturaleza por medio de estructuras de crecimiento con lógica ramificada e interesan, de modo particular, los sistemas de rayos eléctricos (la ceraunología), sistemas neuronales (neurología), sistemas vegetales (botánica) y sistemas hídricos (hidrografía).

La transferencia de estos principios a la práctica experimental se desarrolla por medio de la observación directa de los fenómenos o por medio de imágenes, como herramientas sustitutas. La deducción y comprensión de cada sistema permite realizar codificaciones abstractas, desde la representación de estructuras geométricas, que se despliegan por medio de líneas de distintos grosores y se extienden en diversas direcciones.

Cinemática y cimática

En segundo lugar, se acude al campo del conocimiento externo de la física, a partir de sus ramas cinemática y cimática, que resultan coincidentes en el estudio de fenómenos periódicos. La cinemática, enmarcada en la física mecánica, se enfoca en el estudio de las distintas trayectorias de movimientos de los cuerpos en el espacio, sin atender a las fuerzas que los producen. La cimática, correspondiente a la subdisciplina física acústica, se enfoca en el estudio de los principios de carácter sonoro y óptico que afectan a la materia. El sonido, como fenómeno periódico, transmite vibraciones en forma de ondas mecánicas a través de la materia, las que se hacen visibles. Como aplicación de estos principios en las experimentaciones proyectuales, y a los fines didácticos, para el caso de cinemática se emplean péndulos simples cargados con sustancias líquidas o sólidas de granulometría fina -tintas y sales-, que trazan trayectorias de movimientos sobre superficies planas. Los movimientos oscilatorios pendulares y giratorios representan trayectorias con diversidad y complejidad geométrica, que se delinean en soportes de papel.

Por otro lado, y en referencia a la cimática, se realizan ensayos con altavoces, sobre los que se disponen superficies planas -rígidas o elásticas- para contener sólidos de granulometría fina o líquidos viscosos. Si bien estos sucesos no se producen de forma idéntica, lo hacen de manera permanente en estado de vibración u oscilación, lo que permite registrar figuras -por medio de fotografías- que revelan patrones como resultado de las variaciones de frecuencias.

Teoría de Juegos

Como otra línea de exploración, se presenta la Teoría de Juegos, que corresponde a un área de la matemática aplicada, encargada del estudio de las estructuras formalizadas de los juegos. Se enfoca en los aspectos concernientes a la toma de decisiones como respuesta al planteo particular de cada partida o jugada. Las estrategias y acciones participan como variables determinantes de las estructuras geométricas que representan el desarrollo de los juegos -sus traducciones a esquemas-.

En cuanto a la experiencia académica, se plantean ejercicios con sustento en esta teoría para la generación de trazados reguladores. Por un lado, se aborda el análisis de partidos deportivos o juegos de mesa y, por otro, se realizan juegos con reglas acordadas que se diseñan de modo específico para la experimentación e involucran el accionar físico del grupo de estudiantes en un campo espacial. Esto permite la modelización desde el registro de las trayectorias de movimiento que se generan a partir del accionar lúdico. La particularidad en cuanto a la representación es que la misma se produce de modo simultáneo a la ejecución del juego, por medio de cintas que materializan las trayectorias de quienes participan. Otra particularidad reside en la construcción sincrónica y a escala real del espacio de juego. De ese modo, las estructuras geométricas se convierten en herramientas de análisis e indagación relacionadas con las personas -sus dimensiones, proporciones, escalas, tiempos y tipos de movimiento- desde su origen.

Traslado de saberes como medio de producción

En base a las líneas temáticas reseñadas se desarrollan ensayos que apuntan a indagaciones en los múltiples campos disciplinares. Los principios generativos que se estudian y los patrones geométricos que se experimentan se consideran posibilitantes

alternativos de indagación y generación morfológica, que particularmente aportan principios ordenadores en las instancias iniciales de los procesos de diseño.

Dentro de la estructura clásica del proceso de diseño, dividida en tres fases o subprocesos, A- proceso de ideación o invención del objeto de diseño, B- proceso de proyectación o materialización profesional del objeto de diseño y C- proceso de materialización o construcción del objeto de diseño -como obra arquitectónica- (Naselli, 1999), la exploración se restringe en la primera de las instancias planteadas. Ese subproceso de ideación que, tal como lo define Naselli, "...implica la traducción de las formas expresivas de la ideación, imágenes y conceptos, prearquitectónicos y estas a formas de apariencia y significados arquitecturales..." (2013: 55). La fase señalada emprende la instancia anterior al desarrollo por menorizado de un proyecto, permite gestar y prefigurar la forma para su posterior evolución proyectual. Esa gestación e incluso configuración, en este caso, está orientada por el traslado de saberes caracterizado como ejercicio "transdisciplinar".

Cada una de las distintas experiencias de las líneas temáticas expuestas -en términos de técnicas y de herramientas empleadas- obtiene como producto preliminar imágenes captadas por registro fotográfico, representación gráfica (dibujo) o como resultado del mismo proceso generativo de naturaleza gráfica -aquellos ensayos que operan con tintas-.

De la lectura interpretativa de las mismas se identifican leyes o principios de los fenómenos naturales o mecánicos que se sintetizan en patrones generativos y se decodifican en estructuras geométricas. Estas estructuras posteriormente evolucionan como trazados reguladores, al incorporar una lógica de ordenación. Se pueden reconocer diversos tipos de trazados según la estructura de la que provengan y de las acciones procedimentales que se apliquen. Tal como se expone en el siguiente capítulo: "Orden geométrico complejo y trazados reguladores".

Lo expuesto, hasta aquí, describe las instancias en las que se opera con representaciones bidimensionales. El procedimiento que prosigue plantea el desafío de abordar la tridimensión. La acción de tridimensionalizar se sustenta en la utilización de leyes de crecimiento, concepto que distingue dos componentes en conjunción: “crecer” que según la RAE implica “recibir aumento por añadidura de nueva materia”; y “ley” que refiere a “cada una de las relaciones existentes entre los diversos elementos que intervienen en un fenómeno”. Por lo tanto, una ley de crecimiento conjuga reglas que regulan las relaciones y acciones que posibilitan que diversos elementos constituyan un todo organizado y superador del aporte de cada una de las partes; enmarcado en un sistema de dimensiones y proporciones. Se replican los principios del patrón generador y la estructura geométrica o se explora una ley o mecanismo, con lógica homóloga, que permite producir el crecimiento del trazado regulador en las tres dimensiones espaciales. Se opera de modo simultáneo con modelos físicos y representaciones gráficas -digitales y analógicas-.

En las etapas subsiguientes emergen aproximaciones a la espacialidad arquitectónica, las que se producen en sintonía con los principios generativos y acarrear las condiciones de sus axiomas y métodos. Los trazados reguladores se mantienen presentes para orientar y otorgar precisión a las acciones que superponen, yuxtaponen, encastran, sustraen o extienden figuras y elementos; aquellos que de modo progresivo prefiguran los arquetipos arquitectónicos primarios -muro, techo, suelo, puerta, ventana-. El desarrollo proyectual conlleva la configuración de los límites espaciales, desde el diseño material de las envolventes. Con este accionar, de condición evolutiva, la espacialidad adquiere forma como protoarquitectura, para alcanzar la instancia de cierre del proceso de ideación. Los procedimientos conllevan diversificaciones ligadas a las intenciones e intereses de cada estudiante como personalidad creadora.

Como resultado de estas experimentaciones proyectuales se presentan coincidencias asociadas a las condiciones determinadas por los traslados disciplinares, y disidencias relativas a las direcciones de los procesos de diseño personales. En ese aspecto se valora particularmente la amplitud y diversidad de propuestas que emergen desde objetivos y pautas comunes, las que se presentan en los siguientes capítulos.

CAPÍTULO 2

ORDEN GEOMÉTRICO COMPLEJO Y TRAZADOS REGULADORES¹

Lucas Peries

Encontrar el orden de las formas naturales está en la esencia de la geometría misma. La geometría es una interpretación humana de la naturaleza, un modo cultural de simplificar y comprender la realidad. Al respecto, Quaroni manifiesta que el raciocinio humano, al estudiar los procesos de crecimiento animal, vegetal y mineral “... ha sido capaz de ‘reconocer’ ciertas formas simples, hallando relaciones particulares entre ellas y en el interior de ellas, es decir, construyendo los sistemas de lógica matemática que se llaman geometrías” (1977: 139). En los campos del diseño, el procedimiento analítico de la forma natural para derivar en esquemas o figuras geométricas se invierte, porque generalmente los procesos proyectuales se inician desde la geometría como herramienta para producir formas.

Alsina y Trillas plantean que “la geometría forma parte de la sintáctica de la arquitectura y le ha aportado técnicas notables para describir, comunicar y calcular, que no deben confundirse con el resultado final” (1984: 16). La sintaxis gramatical es definida como la coordinación y secuencia de los elementos que componen un lenguaje, las relaciones, reglas y principios que dirigen la combinatoria de constituyentes -las palabras o morfemas y sus secuencias-. Desde principios del siglo XIX se reconoce la relación

1 Este capítulo deriva de la ponencia “Órdenes geométricos complejos en la construcción de trazados reguladores”, presentada por el autor en las VII Jornadas de Investigación “Encuentro y Reflexión” organizadas por FAUD-UNC en 2018.

entre sintaxis lingüística y sintaxis arquitectónica en la teoría de Durand -sobre la composición por partes-, que determina a la propia composición como sintaxis siguiendo reglas análogas a las de la lingüística. Al hacer referencia al lenguaje arquitectónico, las funciones sintácticas -las relaciones de combinación y ordenación- estarían reguladas por la geometría. Pero la geometría en arquitectura por sí sola no produce nada, tiene que ser concretada en forma y materializada.

El orden geométrico habilita y arbitra la generación de la forma artificial, un planteamiento que ha sido y es un tópico fundamental en todos los campos del diseño. Sobre este tema abunda la literatura especializada, como por ejemplo los trabajos de Gombrich (1979), Ghyka (1983), Dóczy (1996), Elam (2001) o Español (2001). En algunos casos se trata de estudios con carácter técnico en relación con la matemática y en otros priman los análisis de productos del diseño o el arte, e incluso de formas naturales como ejemplificaciones de reglas ordenadoras. La clave común de estos antecedentes se encuentra en el tratado de lógicas y principios geométricos de índole clásico o euclidiano. En 2006, Borja Ferrater publica *Sincronizar la geometría: fuentes ideográficas*. El libro incluye el capítulo *Geometría en el tiempo*, en el que se edita una antología de proyectos arquitectónicos enmarcados entre la segunda y última década del siglo XX; se incluyen aquellos casos que proponen geometrías alternativas a los postulados de la arquitectura moderna. Redes, mallas, pliegues, retículas, superficies regladas y desarrollables, algoritmos y sistemas paramétricos constituyen el catálogo. En el trabajo aparecen esquemas, diagramas o trazados geométricos precisos como componentes clave y disparadores de las propuestas proyectuales.

Los trazados reguladores se detectan como una constante en el diseño urbano-arquitectónico, en múltiples periodos históricos. El *Palacio de Versalles* y sus jardines (1661-1692), por ejemplo, reflejan una regularidad compositiva con particiones espaciales y ejes visuales de estricta definición -característicos del

canon renacentista-, con un diseño que deriva de un trazado de líneas y figuras geométricas euclidianas. En el siglo XX, Bernard Tschumi propone múltiples capas de información con un orden en niveles superpuestos y relacionados, para generar el trazado del *Parque La Villete* (1982). Propuestas más actuales como la paradigmática *Terminal Marítima de Yokohama* (1998) proyectada por el grupo FOA (Farshid Moussavi y Alejandro Zaera Polo), el proyecto *Centro Multifuncional del Castillo de Denia* (2002) de Guallart, el *Museo de Riverside* en Glasgow (2011) de Zaha Hadid Architects o el *Hyperlane Linear Sky Park* (2020) de Aspect Studios resultan ser casos ilustrativos del tópico tratado. En estos referentes se puede identificar el empleo de trazados geométricos como una práctica vigente y necesaria para aportar rigurosidad geométrica al diseño arquitectónico desde diversos repertorios formales. Al respecto, cabe señalar que las formas complejas de estos proyectos emergentes en la era digital² parecieran ser aleatorias a simple vista, aunque existen profundos y rigurosos estudios geométricos sobre los que se sustentan estas prácticas proyectuales.

En los proyectos contemporáneos -en términos generales- los trazados derivan del estudio del entorno construido o de la ciudad misma, a modo de “entretejido”, y también de analogías o imitación de formas o sistemas de la naturaleza. En los casos que se estudian en el marco de la investigación se detecta el trabajo con tramas, redes y teselas, las cuales se plantean como estructuras de repetición -regulares, semirregulares o irregulares-, junto a la posibilidad de realizar deformaciones topológicas y superposiciones -como capas de información-. También se reconoce la traducción de órdenes perceptuales, los que se interpretan como

2 La gran producción data de la década del noventa a la actualidad, periodo coincidente con la introducción masiva de los medios digitales como herramientas operacionales en el proceso proyectual y, posteriormente, en la construcción arquitectónica desde la propia fabricación digital.

sistemas de flujos o movimientos y se representan en líneas de trayectorias. Todas estas estrategias proyectuales implican recursos alternativos y válidos para construir los trazados geométricos complejos que accionan y regulan la generación morfológica. A continuación, se presentan los cuatro tipos de estructuras geométricas de interés y estudio.

Tramas

Las tramas geométricas se hacen presentes en el entrecruzamiento de líneas, que en una dimensión material pueden corresponder a los hilos que se cruzan para formar un tejido textil. Claro que, en las tramas clásicas, por sí mismas, no hay complejidad -si se pretende desarrollar producciones enmarcadas en un paradigma contemporáneo-, pero se detectan dos modos operativos para la generación de trazados complejos: la distorsión y el *scaling* “escalando”, dado que una estructura geométrica de trama puede ser alterada o combinada con otras tramas.

La distorsión, que se entiende como alteración, deformación, distensión o un estiramiento que se produce en las líneas constitutivas de una trama -como si se tratara de entidades elásticas y flexibles-, tiene el sentido de producir complejidad geométrica. Se trata de un ejercicio análogo a las exploraciones gráficas realizadas por Durero en el siglo XVI o D’Arcy en el siglo XIX, sobre la deformación cartesiana de la fisonomía humana y de los animales.

En cuanto al *scaling*, el mismo responde a un procedimiento conceptualizado y desarrollado en la década del setenta del siglo pasado por Eisenman. De manera sintética, se puede definir que el *scaling* consiste en la superposición de tramas con variaciones de escala y posibles rotaciones o desplazamientos. Este proceder es flexible y busca romper con los órdenes clásicos a partir de fragmentar la ortogonalidad.



Figura 1. Distorsión y scaling de tramas. Peries, 2018.

Teselados

Un teselado, o teselación, es un conjunto de teselas -agrupación de figuras geométricas pequeñas- que subdividen o cubren un plano mayor, sin producir superposiciones ni dejar espacios libres. El trabajo con teselas tiene orígenes muy remotos, tanto en técnicas de mosaicos cerámicos como con textiles. En la naturaleza se las puede identificar en estructuras vegetales, por ejemplo, la piel de algunos reptiles o peces, y en anidaciones animales como los panales de teselación hexagonal de las colmenas.

En matemática, los teselados simples, regulares o monoédricos se producen por la repetición de polígonos iguales y las teselaciones semirregulares o no uniformes se generan por la combinación de más de un tipo de polígono. Con el transcurso de la historia, en el campo matemático aparecen estructuras más complejas como: la teselación de Voderberg³, la primera en construirse como sistema espiral, a partir de un polígono irregular de nueve lados (eneágono); o la teselación de Penrose⁴, aquella que opera con dos figuras y simetría rotacional, sin producir repeticiones periódicas, superando los patrones repetidos simples. Cuando los teselados se integran con figuras triangulares aparece el diagrama de Voronoi o la teselación de Dirichlet⁵. Ambas técnicas subdividen un plano en regiones o celdas. El teselado se

3 Propuesta del matemático Heinz Voderberg planteada en 1936.

4 Propuesta del físico matemático Roger Penrose desarrollada en la década del '70 del siglo pasado.

5 Métodos desarrollados por los matemáticos Johann Peter Gustav Lejeune Dirichlet en 1850 y Georgy Feodosevich Voronoy en 1908.

construye por interpolación de puntos y el trazado de las mediatrices de los segmentos conectores. Las intersecciones de las mediatrices determinan una serie de polígonos como particiones del plano, de manera que el perímetro de las celdas sea equidistante a los puntos circundantes.

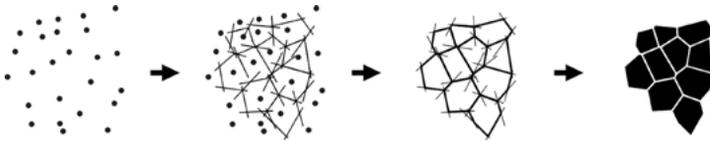


Figura 2. Proceso de construcción gráfica del teselado de Voronoi. Peries, 2018.

También para las teselas triangulares se emplea el método de triangulación de Delaunay⁶. Esta técnica generativa, maximiza el ángulo mínimo de todos los triángulos que producen la estructura triangular y tiende a evitar las figuras obtusángulas -triángulos que tienen un ángulo obtuso: es decir, que mide más de 90°-.

Redes

Otras alternativas para la generación de trazados geométricos la encontramos en las redes. Se trata de estructuras de orden topológico que vinculan nodos con conexiones no jerárquicas. El interés en las redes, en diversos contextos de conocimiento, se desarrolla desde hace varias décadas con la atención en los sistemas complejos. Tal como lo propone Strogatz (2001), las redes plantean las siguientes características: complejidad estructural; evolución o cambio en el tiempo; diversidad de nodos; diversidad de conexiones; alinealidad; metacomplicación -cuando la dinámica de los nodos afecta a la fuerza de la conexión-.

⁶ Boris Nikolaevich Delaunay desarrolla su teoría geométrica a partir de 1934.

Los fundamentos de las redes de comunicación responden a un planteo de Baran⁷, al desarrollar un sistema de comunicaciones topológico para la defensa militar norteamericana. El autor propone tres alternativas de red partiendo de la misma cantidad de nodos y establece distintas estructuras, las que derivan de las diversas posibilidades de conexión: la red centralizada, en la que los nodos se conectan a través de un único nodo central; la red descentralizada, en la que se replica la estructura centralizada en varias redes menores y conectadas; y la red distribuida, en la que todos los nodos están conectados y desaparecen los nodos centrales. Otra opción para la construcción de redes, a partir de conjuntos arbitrarios de puntos, la encontramos también en el método de triangulación de Delaunay, que se reseña en el apartado de teselados.



Figura 3. Esquemas de las estructuras de red de Baran: centralizada, descentralizada, distribuida. Peries, 2018.

Trayectorias

Cuando la geometría deja de considerarse estática y se atiende al movimiento o al crecimiento entran en acción las estructuras dinámicas. La parábola, por ejemplo, surge a partir de la observación de Galileo (1602) sobre la trayectoria descrita por el lanzamiento de un objeto. Y una curva sinusoidal se interpreta como una proyección en el plano del camino de un punto que

⁷ Fundamentos desarrollados por el ingeniero Paul Baran en 1964. Estudios similares son desarrollados por Donald Davies y Leonard Kleinrock.

se mueve alrededor de un círculo, con desplazamiento respecto a un eje direccional.

En la naturaleza, la migración animal puede ser definida como el desplazamiento periódico de individuos migrantes de un espacio geográfico a otro. La conducta colectiva de grandes manadas, bandadas, cardúmenes o enjambres, entre otras especies animales, describe distintos patrones migratorios. Estos patrones pueden ser sintetizados en diagramas geométricos -cuestiones ampliamente estudiadas y descriptas por la etología-.

También en los sistemas naturales de ramificación se reconocen diagramas geométricos. Las estructuras de los vegetales, los ríos, los relámpagos o las vías vasculares, operan con progresiones simples para producir estructuras complejas. El ejemplo característico es la convergencia de tres arroyos formando una corriente, tres corrientes un afluente y tres afluentes un río. Estas estructuras operan tanto por dispersión como concentración y cualquier parte de cualquier dimensión siempre será superada en número por la siguiente dimensión más pequeña.

En arquitectura, la propuesta proyectual de la arquitecta Hadid⁸, en su discurso teórico, reitera los conceptos de campos de flujos, líneas de fuerzas, sistemas y secuencias de desplazamientos. Además, estudia las pautas de movimiento generadas por los sistemas de automóviles, trenes, bicicletas y peatones en los espacios urbanos, cada uno de ellos con sus propias trayectorias y temporalidades, que son traducidas a esquemas gráficos. Estos registros iniciales, durante el proceso de ideación arquitectónica, adquieren precisión geométrica para definirse en trazados reguladores que permiten desarrollar la configuración formal.

8 Planteamientos teóricos y proyectuales desarrollados por Zaha Hadid, publicados a partir de 1992.

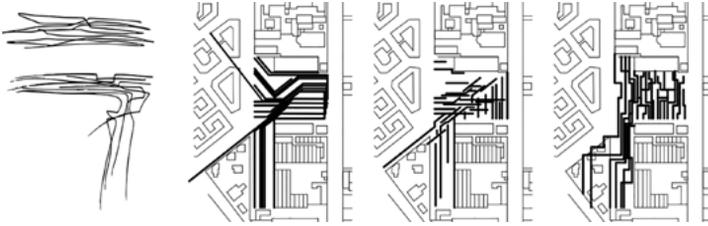


Figura 4. Esquemas de trayectorias para el proyecto MAXXI Roma, Zaha Hadid Architects, 1999. Redibujó: Peries, 2018.

Precisiones

A partir de los conceptos generales expuestos y los casos reseñados, con la intención de ordenar la información en un sentido didáctico y orientado a la enseñanza de la morfología arquitectónica, se define el mapa síntesis de la lógica geométrica de construcción de trazados reguladores, el cual se presenta y explica a continuación. Para precisar y adoptar una terminología uniforme respecto de las alternativas reconocidas con anterioridad, se acompaña la argumentación con un glosario.

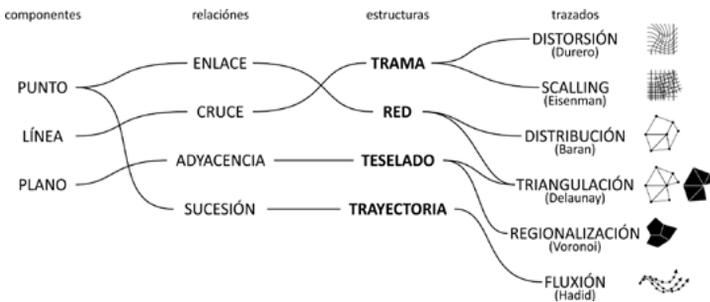


Figura 5. Mapa síntesis de la lógica geométrica de construcción de trazados reguladores. Lucas Peries, 2018.

Se determinan tres tipos de unidades geométricas elementales, los que se denominan “componentes”, estos son:

- Punto: unidad geométrica abstracta sin dimensión.
- Línea: unidad geométrica unidimensional.
- Plano: unidad geométrica bidimensional y superficial.

Estos componentes pueden establecer conexiones o unirse entre ellos de determinado modo específico, lo cual produce por resultado una estructura geométrica. Las “relaciones” entre componentes pueden ser:

- Enlace: unión o conexión de puntos que genera una estructura.
- Cruce: intersección de líneas que genera una estructura.
- Adyacencia: aproximación de planos que genera una estructura.
- Sucesión: desplazamiento de puntos que genera una estructura.

Las estructuras geométricas, entendidas como la distribución y orden lógico de componentes, se diferencian en:

- Trama: estructura geométrica compuesta por líneas cruzadas.
- Red: estructura geométrica compuesta por nodos enlazados.
- Teselado: estructura geométrica compuesta por planos adyacentes.
- Trayectoria: estructura geométrica que representa la sucesión de puntos en movimiento.

La selección o generación de estos tipos de estructuras desencadena en la construcción de “trazados” reguladores. Los trazados son una estructura geométrica con determinada lógica

organizativa y procedimental. Se pueden reconocer diversos tipos de trazados según el tipo de estructura de la que provengan y de las acciones procedimentales que se apliquen. En esta investigación se estudian y definen seis tipos de trazados. En la presentación de cada tipo se mencionan personas referentes, dado que la operación geométrica con la que se interviene, o la lógica organizativa, deriva del trabajo desarrollado por las personalidades citadas:

- Distorsión: desequilibrio o torsión de las líneas que integran una trama para generar trazados complejos, derivado de los estudios de Durero (aproximadamente a partir de 1500).
- *Scaling* “escalando”: ampliación y/o reducción de tramas superpuestas con posibles desplazamientos para generar trazados complejos, derivado de los estudios de Eisenman (1969).
- Distribución: unión de puntos por enlaces para generar trazados complejos de redes, derivado de los estudios de Barán sobre las redes de comunicación (1964).
- Triangulación: unión de tres puntos por enlaces o unión de planos triangulares por adyacencia para generar trazados complejos de redes o teselas, derivado del procedimiento de Delauney (1934).
- Regionalización: circunscripción de los planos que generan un trazado teselar complejo, derivado del procedimiento de Voronoi (1908).
- Fluxión: sucesión de puntos que fluyen en el espacio y definen trayectorias para generar trazados complejos, derivado de los conceptos de Hadid (1992).

Los procesos de construcción tridimensional de estos tipos de trazados, para la generación de formas arquitectónicas, también son explorados en esta misma investigación y su exposición aparece en los próximos capítulos.

CAPÍTULO 3

RAMIFICACIÓN¹

Natalia María Colombano y Lucas Peries

Principios generales de los sistemas de ramificación

Una ramificación es una derivación secundaria de algo, que en general tiende a disminuir algunos de sus atributos a medida que esta se produce, manteniendo la condición de la estructura original. Este concepto se aborda desde la Teoría de la Bifurcación, la cual “...asume que los parámetros varían lentamente y predice cómo y cuándo un sistema se torna inestable” (Londoño, Milena, Tost y Angulo-García, 2011: 109). Además, se establece que: cuando a un sistema se lo somete a diversas condiciones, se puede observar cómo en el accionar propio aparecen las bifurcaciones. El concepto de ramificación se relaciona de modo directo con los sistemas de crecimiento vegetal, en los cuales una rama es cada una de las partes que nacen de un tronco o tallo principal y, así, se produce el aumento progresivo de elementos. Desde el campo de la esquemática de comunicación visual, Costa se refiere a la figura del árbol como ideograma y expone:

Dependiendo de la densidad arborescente, los entrecruzamientos de ramificaciones pueden llegar a predominar generando una textura (conforme con la estructura del fenómeno

¹ Este capítulo es una adaptación del artículo científico “Sistemas de ramificación para la generación de formas arquitectónicas”, desarrollado por el mismo equipo autoral y publicado en la revista científica DAYA, N°12, 2022.

representado) y entonces se configura una red. El aumento progresivo de la complejidad del ramaje deviene en una estructura más densa. Así se transita de un prototipo simétrico con su eje vertical a una estructura compleja entretejida. Esto indica que las formas de base no son estáticas sino que se transmutan para adaptarse a las necesidades expresivas. (Costa, 2019:187)

Los sistemas de ramificación se abordan, en el marco de la investigación, a partir de la observación detallada de múltiples fenómenos naturales. La aproximación al análisis de estos sistemas se plantea desde las siguientes disciplinas: hidrología, meteorología, biología; medicina, mientras que se dejan de lado otros fenómenos naturales como los fluidos acuosos, volcánicos, cristalográficos, entre otros. Desde la revisión de los principios y características inherentes al concepto de ramificación, se identifican patrones para su aplicación en procesos generativos de formas protoarquitectónicas.

Al respecto, es importante señalar las tres características del principio general de los sistemas de ramificación, las cuales se ilustran en la figura 1.

A- Relación de las partes con la totalidad del sistema.

B- Reiteraciones o combinaciones en los comportamientos de las unidades estructurales.

C- Actividades rítmicas que contienen combinación de partes con ejes principales y secundarios.

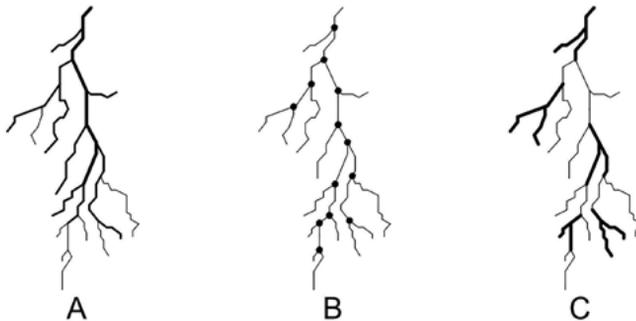


Figura 1. Principios generales de los sistemas de ramificación (Brügger, 2021).

En estas características se destaca la relación de las partes con la totalidad y las reiteraciones o combinaciones en las unidades estructurales de los sistemas, en relación al carácter de recurrencia con que se presentan en sus formas al interior de estos. Ello produce actividades rítmicas, que son propias de cada sistema, estableciendo así diversos patrones de configuración para cada ordenamiento.

A continuación, se desarrollan los diferentes ordenamientos de los sistemas de ramificación que determinan patrones específicos. Estos pueden definirse como una disposición de elementos que se repiten bajo cierto ordenamiento, desde un conjunto de variables constantes que se pueden identificar dentro de un universo mayor de datos.

El ordenamiento hidrográfico

En los ordenamientos hidrográficos se estudia el conjunto de ríos que desembocan en un mismo lugar y conforman un sistema ramificado. Para poder realizar una lectura de este fenómeno se detecta que existen numerosos principios, como por ejemplo los que caracterizan Garay y Agüero (2018) al referirse a las cuencas, relieves, perfiles y drenajes. De este tipo de ordenamiento se destaca la Ley de Horton y Strahler (1945), un instrumento que permite sintetizar la complejidad de las ramificaciones hidrográficas. Al respecto del ordenamiento, Mantilla, Mesa y Poveda (2018) describen:

El estudio cuantitativo de redes de drenaje fue iniciado hace cinco décadas por R. E. Horton (1945), quien propuso un esquema de ordenamiento para la red de drenaje. Este esquema fue revisado posteriormente por Strahler (1952, 1957), quien lo perfeccionó resolviendo algunas ambigüedades. Este sistema de ordenamiento conocido como el esquema de Horton-Strahler es el más usado en hidrología actualmente. (p.11)

El planteo de Horton-Strahler se emplea para definir jerarquías de ramificaciones en las lecturas hidrográficas, lo que permite establecer patrones particulares. De esta manera, la ley asigna un número de acuerdo con la cantidad de corrientes que convergen en cada cauce hídrico. A los iniciadores les corresponde el número uno, en donde se unen el número dos y así sucesivamente. Cuando se juntan dos números diferentes prevalece siempre el mayor. También se asocia este patrón a la ley matemática de semejanza, dado que se observan relaciones de similitud en la "...longitud, la pendiente, el área y otras variables..." (Mesa, 2018: 381). Es importante destacar que tales simplificaciones suelen ser de carácter estadístico, es decir, siempre existen márgenes de variabilidad, principalmente cuando se trata de fenómenos naturales.

El ordenamiento neurológico

El ordenamiento neurológico explora los aspectos generales que presenta el tejido nervioso y se constituye como un sistema de relaciones celulares. Al respecto, se conocen dos doctrinas, que surgen de hipótesis vinculadas, con relación a cómo está formado el sistema nervioso. En la Teoría de Golgi (1873) -conocida como Doctrina Reticular- se considera como una red continua. En la Teoría de Ramón y Cajal (1905) -Doctrina de la Neurona- se postula que existen células independientes que se contactan, pero no se unen entre sí.

A las ramificaciones de las células nerviosas se las conoce como dendritas. La neurona típica presenta un cuerpo neuronal y las prolongaciones, las cuales corresponden al axón -por lo general, es la prolongación de mayor longitud, más delgada y que transmite el impulso eléctrico hacia otras-. Las neuronas se estudian y clasifican desde el análisis de sus prolongaciones, de la longitud del axón y de la forma de su cuerpo. Se las define en: Piramidal, Purkinje, Talámica, en Cesto, Estrellada y Granular. Estos son los tipos de ordenamientos de interés para este estudio.

Las neuronas Piramidales son multipolares, principalmente situadas en diversas partes del cerebro, se caracterizan por presentar una forma cónica en el cuerpo de esta y de allí deviene su nombre. Otro aspecto importante suele ser una ramificación abundante de las dendritas y un axón largo y ramificado. Una de las características formales de las neuronas Purkinje es que se presentan de manera ramificada construyendo un árbol denso y dendrítico, en el cerebro. Las neuronas en Cesto, contienen un único gran árbol dendrítico apical. Las neuronas Estrelladas -suelen ser las más abundantes del tejido nervioso- presentan un núcleo en general esférico y prolongaciones que emergen del cuerpo celular. Las neuronas Granulares se encuentran en el cerebro en la capa de células granulosas y las dendritas de estas células se extienden perpendicularmente a la capa de las mismas.

El ordenamiento ceraunológico

La ceraunología, como subdisciplina de la meteorología, estudia lo relacionado a las características de los rayos como fenómenos atmosféricos y determina los tipos específicos. Según las descripciones físicas, los rayos son descargas transitorias de elevada intensidad. La mitad de los rayos ocurre en el interior de la nube y la otra mitad entre nube y tierra. Se trata de polaridades eléctricas que establecen tensiones para producir descargas ramificadas. Existen antecedentes mencionados en el libro Designa como “Patrones de distribución” (Martineau, 2016: 10), donde se expone que estos sistemas pueden distribuirse hacia un área en común, como en la hidrografía de las cuencas, o expandirse como en el caso de los rayos. Según como sea la descarga se presentan tipos de rayos diferenciados, de los cuales son de interés para este estudio los denominados: Nube-tierra, Bifurcado y Perla. El rayo Nube-tierra es aquel que es visible como una trayectoria que desciende entre la nube y el suelo. Si en el espacio comprendido entre la nube y la tierra la descarga es negativa, por lo general ocurren tres o cuatro

ramificaciones en el mismo rayo; si la descarga es positiva de nube a tierra, su canal presenta cierta uniformidad y, por lo general, se produce una única descarga de retorno. El rayo bifurcado es a su vez un tipo de rayo nube a tierra que presenta múltiples ramificaciones en su recorrido y el rayo Perla se desarrolla en cadena, así la luminosidad del canal se divide en segmentos.

El ordenamiento botánico

En el ordenamiento botánico, la histología -rama de la biología- realiza el análisis de la anatomía microscópica e identifica y visualiza las estructuras vegetales. Según Halle (2010), la estructura de las ramificaciones depende de los distintos aspectos que determinan el sistema. Como, por ejemplo, la dirección del crecimiento de las ramas, la posición de las estructuras reproductivas y si estas son continuas o rítmicas. “La combinación de estos rasgos permite definir muchas arquitecturas diferentes o, mejor dicho, muchos modelos de arquitectura” (Halle, 2010: 406), en referencia al concepto de botánica.

Es importante destacar que en los sistemas de ramificación aparecen lógicas de repetición y periodicidad que generan ritmos variables propios a cada sistema. Sin embargo, se puede identificar un elemento común, por ejemplo, el hecho de estar conformados por dos partes: una parte que genera tensión y otra que vincula a las mismas. Estas tensiones se sintetizan, de modo visual, con puntos y los vínculos se definen por líneas. Los puntos (tensiones) son los elementos que, en general, definen las bifurcaciones y según cómo se combinan o repiten generan distintas lógicas de recorrido.

Halle tipifica veintidós modelos, relativos a las posibles combinaciones. Se propone operar con seis de ellos: Leeuwemberg, Rauh, Massart, Troll, Attims y Nozeram. Algunas de las características que presentan estos modelos para Tourn, Barthelemy, Grosfeld (1999) se pueden sintetizar de la siguiente manera: el

modelo Leeuwemberg posee un tipo de crecimiento ortótropo, lo cual implica que su eje y dirección de desarrollo es perpendicular al suelo; además presenta sucesión simpodial -crecimiento en que la yema axilar reemplaza a la yema terminal que muere cada año- con módulos equivalentes en simetría. El modelo Rauh también presenta el tipo de crecimiento ortótropo y posee tronco y ramas morfológicamente idénticas con ramificaciones rítmicas. El modelo Massart es plagiótropo, ya que su dirección de crecimiento es de forma paralela al suelo en eje horizontal y presenta ramificación rítmica. El modelo Nozeram presenta un tronco ortótropo simpodial y el crecimiento de los dos tipos de ejes puede, o no, ser rítmico. El modelo Troll está constituido por una superposición de ejes -se considera un modelo con eje mixto, porque se superpone el tronco con las ramas- y también es plagiótropo, al igual que el modelo Nozeram.

Con el propósito de ejemplificar los distintos patrones de ramificación seleccionados, desde la hidrografía, ceraunología, neurología y botánica, se presenta una síntesis gráfica en la figura 2.

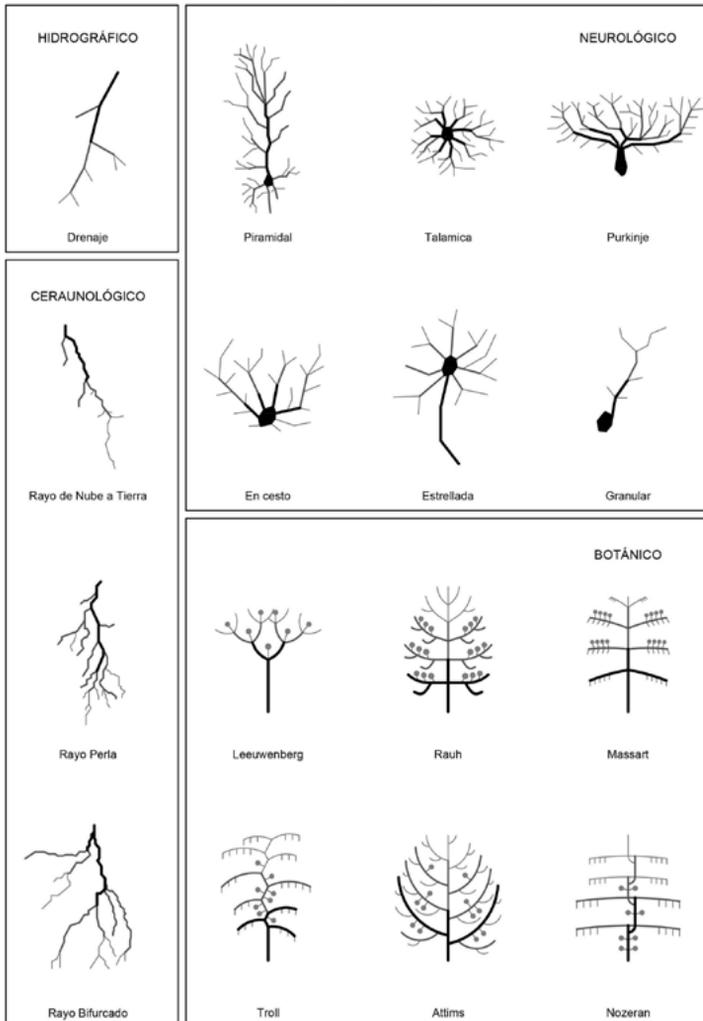


Figura 2. Patrones de sistemas de ramificación (Elaboración propia en base a los antecedentes expuestos, con colaboración de Brügger, 2020).

Transferencia de los sistemas de ramificación a la experimentación proyectual

A continuación, se reseña una serie de ensayos en los que se realizan indagaciones proyectuales. Los iniciadores para las prácticas de estos surgen de los fenómenos naturales que presentan los sistemas ramificados. También se incorporan referencias provenientes del arte y el diseño industrial, con fundamentos en los mismos principios. De esta manera se identifica la producción de artistas y profesionales del diseño que ponen de manifiesto los conceptos de flujos, expansión o bifurcación de la naturaleza y, a través de ellos, permiten visualizar sus ideas. Son ejemplos representativos las expresiones artísticas de Diana Scherer y, desde el diseño industrial, los objetos de Wertel Oberfell, los que se reseñan en la figura 3 y 4.



Figura 3: *Interwoven* (Scherer, 2016, 2017).

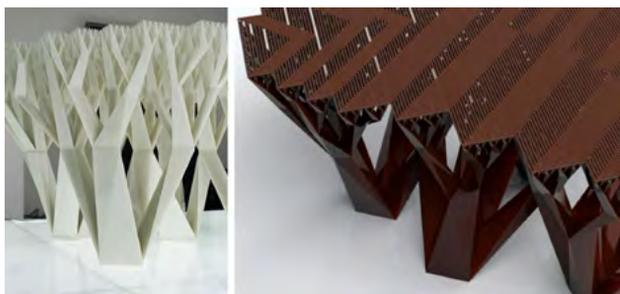


Figura 4: *Mesa Fractal* (Oberfell, 2008).

Estas expresiones creativas permiten una aproximación ilustrativa a ciertas prácticas equivalentes a las que se desarrollan en el laboratorio proyectual de arquitectura, en el cual los iniciadores de los ensayos contemplan dos posibilidades de abordaje: desde la observación directa para el caso de la botánica y la observación indirecta, por medio de representaciones sustitutas (fotografías) correspondientes a la ceraunología, hidrografía y neurología.

Las actividades se realizan en lecturas individuales que también se contrastan de manera grupal en una aproximación fenomenológica a los sucesos naturales, como se observa en la figura 5. Por un lado, y en actividades de gabinete, se opera mediante series de fotografías que representan registros documentales de los fenómenos -aquellos que no es posible contemplar en cualquier momento (meteorología) o que su magnitud escalar dificulta el acceso (hidrografía, neurología)- y que permiten realizar lecturas interpretativas y deducir los diversos tipos de ordenamientos que imperan. Las imágenes son seleccionadas en función de los intereses propios de cada estudiante -culturales, emocionales y experiencias previas-. En simultáneo, se aborda la experiencia en actividad de campo, desde la observación directa de elementos arbóreos con registros gráficos y toma de muestras materiales (porciones de vegetales), las cuales se transfieren al plano bidimensional por medio de técnicas serigráficas. Esto permite el análisis y la deducción de ordenamientos.

Por otro lado, se suministra la instrumentación teórica para permitir que se vinculen las deducciones intuitivas con la información del conocimiento teórico multidisciplinar. De este modo, se logra reconocer y denominar los patrones detectados.

Luego se realiza un proceso de síntesis y construcción geométrica del resultado que se obtiene en la instancia anterior y se construyen trazados reguladores bidimensionales -huella, rastro o señal geométrica que ordena y rige la forma-. Es importante destacar que, si bien los trazados son estáticos,

derivan de la interpretación de fenómenos naturales y organismos vivos, que tienen en sí mismos comportamientos estructurales, procesos de crecimiento, cambio y dinamismo. Así lo plantea Moisset (2003), al referirse a la mirada humana sobre la naturaleza, para capturar parte de su esencia con relación al diseño arquitectónico.

Por último, los trazados habilitan la construcción tridimensional por medio de operaciones como: repetición, extensión o escalamiento de los componentes geométricos (puntos, líneas, planos). De este modo, se supera la bidimensión con la construcción de modelos tridimensionales, en los cuales se articulan organizaciones y configuraciones espaciales, con sustento en reglas y relaciones proporcionales.



Figura 5: Experiencias de observación y reinterpretación (Archivo de cátedra Morfología II B, FAUD-UNC, 2019).

A continuación, se exponen ensayos proyectuales que muestran, de modo práctico, el proceso de evolución desde el estudio de la ramificación como fenómeno natural hasta la definición tridimensional o proto arquitectónica.

Ramificación hidrográfica - Drenaje²

Experimentación

Sobre la base de una imagen del fenómeno hídrico se realiza la distinción entre aquellos cauces que presentan mayor caudal en relación con otros. También se divisan los componentes geométricos principales (líneas curvas), lo que permite realizar una síntesis gráfica del patrón predominante, correspondiente con el tipo de drenaje.

Construcción de trazados reguladores

En sentido de formar el trazado regulador, se realiza en una primera instancia una serie de ensayos de composiciones geométricas bidimensionales. Estos agrupan y repiten de diversas maneras el patrón inicial. Con posterioridad, se seleccionan los puntos de bifurcación del patrón hídrico y se construye el trazado regulador por triangulación.

Construcción tridimensional

A partir del trazado regulador bidimensional, se selecciona un sector para la tridimensionalización, que se desarrolla con la misma lógica de crecimiento de la triangulación.

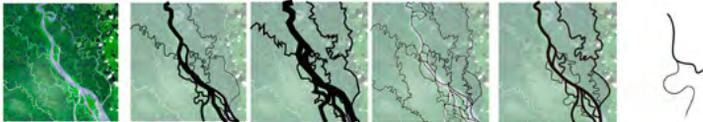


Figura 6. Secuencia de análisis del fenómeno hidrográfico.

² Experimentación proyectual del estudiante Juan Pablo Cerquatti.

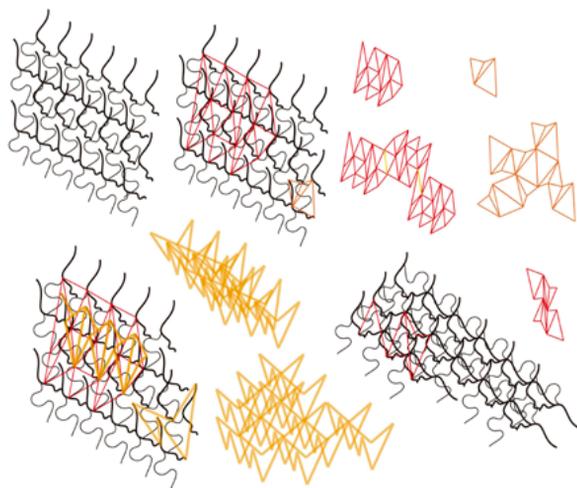


Figura 7. Ensayos de composiciones geométricas bidimensionales.



Figura 8. Tridimensionalización del trazado.



Figura 9. Tridimensionalización especializada del trazado.

Ramificación neuronal en cesto³

Experimentación

A partir de una fotografía del fenómeno neuronal y con atención en sus ramificaciones, se detectan los componentes geométricos (puntos, líneas y planos). En una primera instancia se identifican las líneas que definen la estructura de la imagen, luego los puntos de bifurcación (estos definen el patrón neuronal en cesto) y además se determinan las superficies que se producen entre estas líneas.

Construcción de trazados reguladores

El trazado se ordena a partir de una trama según la sucesión de Fibonacci y se estructura a partir de una red distribuida. Desde esta estructura geométrica resultante se exploran dos alternativas de trazados: con la técnica de Voronoi, para lo cual se determinan sus mediatrices y luego se arma un trazado teselar, y con la triangulación de Delauney. Desde este último trazado se continúa la exploración y se realizan alternativas a través de acciones de multiplicación, giro, superposición y conexión del trazado original.

Construcción tridimensional

Así como se plantea el orden bidimensional, se establecen también las reglas de crecimiento tridimensional. En esta instancia se repiten las acciones antes planteadas de entrelazar, atar, repetir, incorporando la de escalar mediante la utilización de la sucesión de Fibonacci. Se arriba a la construcción de modelos tridimensionales a partir de las pautas establecidas de crecimiento. Allí se verifica la relación integral de totalidad y partes.

³ Experimentación proyectual de la estudiante Mariel Zarak.

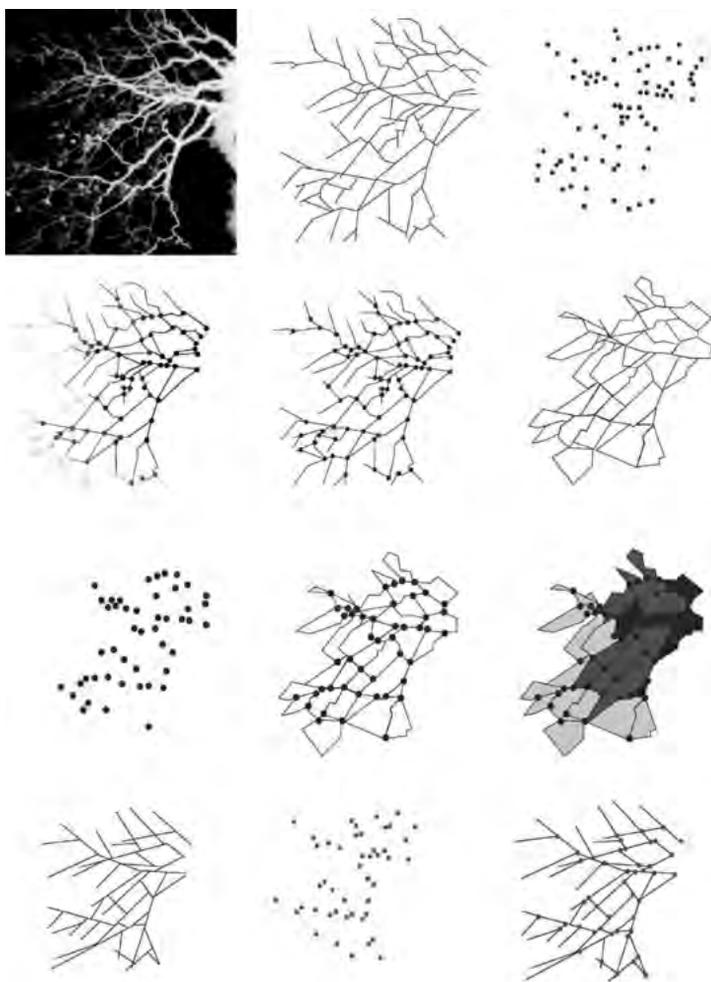


Figura 10. Secuencia de análisis del fenómeno neuronal: Identificación de los componentes geométricos (puntos, líneas, superficies).



Figura 11. Patrón del trazado regulador detectado. Zarak Mariel 2020.

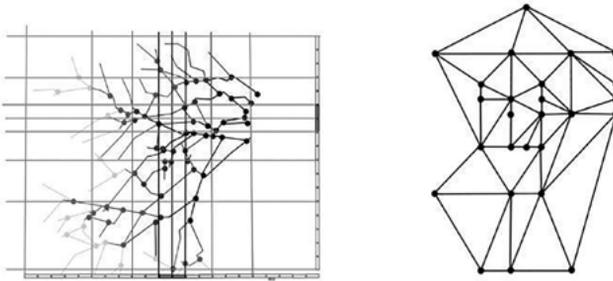


Figura 12. Puntos y líneas del patrón ordenados en una trama según la sucesión de Fibonacci - Trazado en red distribuida.

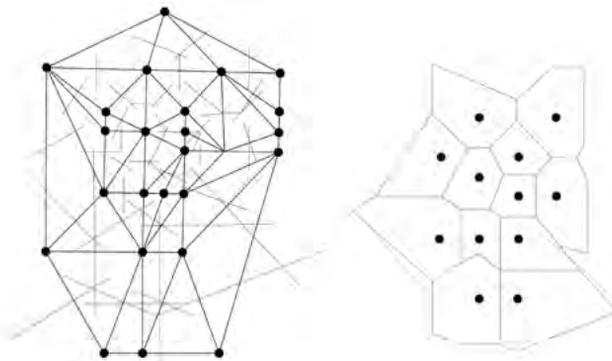


Figura 13. Exploración de trazado teselar.

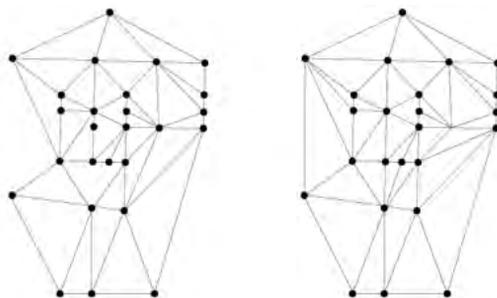


Figura 14. Generación de trazado en red.

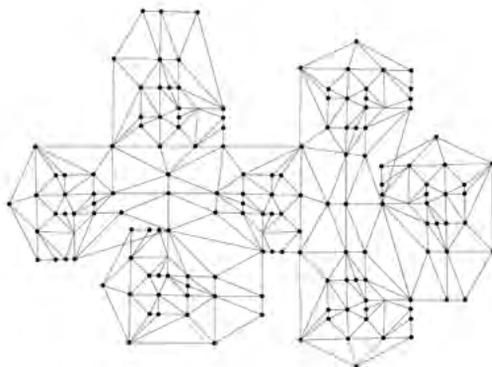


Figura 15. Acciones de multiplicación, giro, superposición y conexión del trazado original.

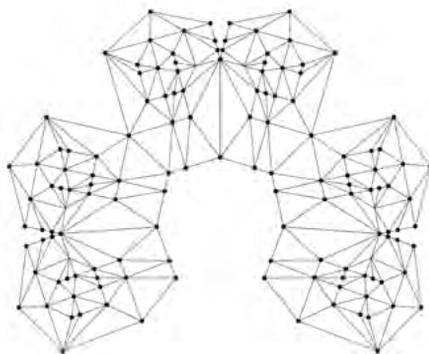


Figura 16. Acciones de multiplicación, simetría axial del trazado original.

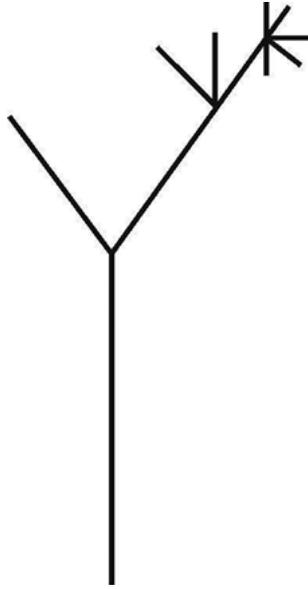


Figura 17. Lógica de crecimiento tridimensional.

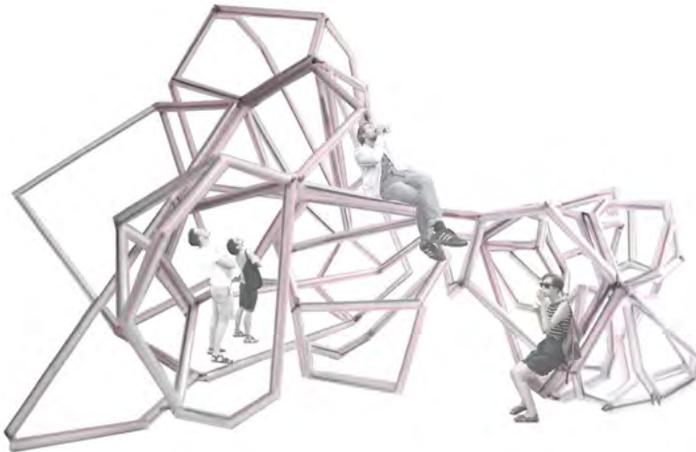


Figura 18. Construcción tridimensional.

Ramificación ceraunológica - Rayo de nube a tierra⁴

Experimentación

Se realiza una lectura desde una imagen del fenómeno ceraunológico de sus componentes geométricos (puntos y líneas). Estos se ubican en una trama ortogonal modulada que permite ordenarlos y determinar la estructura del trazado. Responde al patrón identificado como rayo de nube a tierra.

Construcción de trazados reguladores

Se concibe un trazado regulador de red distribuida definido por los puntos de bifurcación de las líneas segmentadas de los rayos y ordenadas previamente en trama ortogonal, como se especificó en el apartado de experimentación.

Construcción tridimensional

Para poder abordar la tridimensión, la red distribuida generada en las dos dimensiones es interpretada en ejes cartesianos (X, Y, Z). En esta interpretación, la estructura bidimensional (X, Y) se rota en su eje Z y, desde esa rotación, se determinan las alturas de crecimiento tridimensional. Los puntos finales de los ejes X e Y se extienden en vertical para determinar el inicio de la tridimensionalización. Se consideran distintas alturas ascendentes y descendentes, respecto a una cota de nivel cero del suelo.

⁴ Experimentación proyectual de la estudiante Catalina Agüero.



Figura 19. Traducción síntesis desde una imagen del fenómeno ceraunológico a sus componentes geométricos (puntos y líneas) en una trama ortogonal que permite ordenarlos y determinar la estructura del trazado.

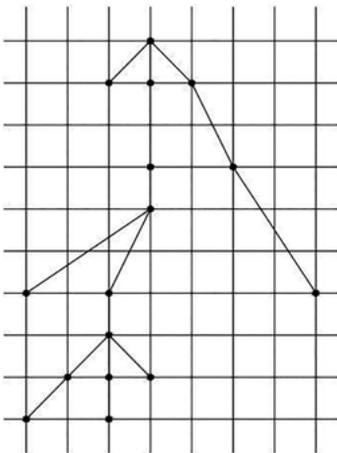


Figura 20. Trazado en red distribuida ordenada previamente en trama ortogonal (1,1).

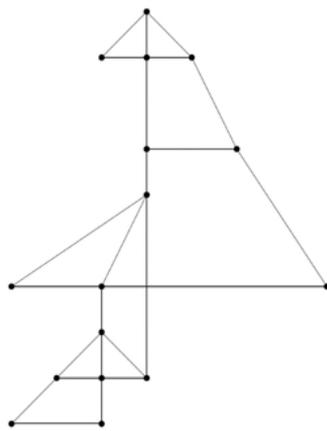


Figura 21 Trazado regulador de red distribuida.

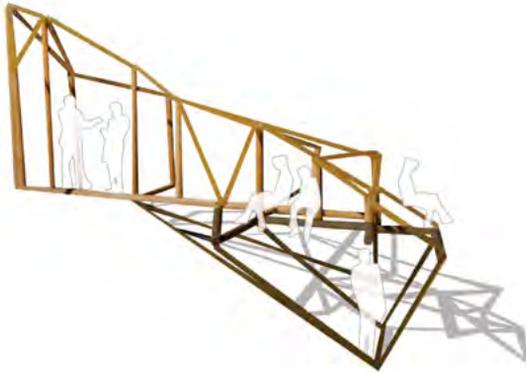
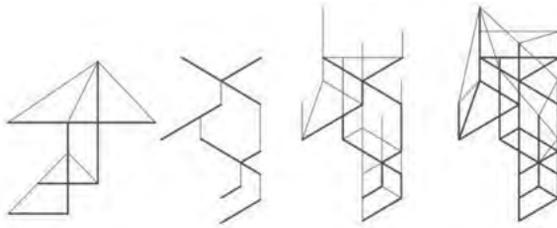


Figura 22. La red distribuida generada en las dos dimensiones se rota en el eje z y se determinan las alturas de crecimiento tridimensional.

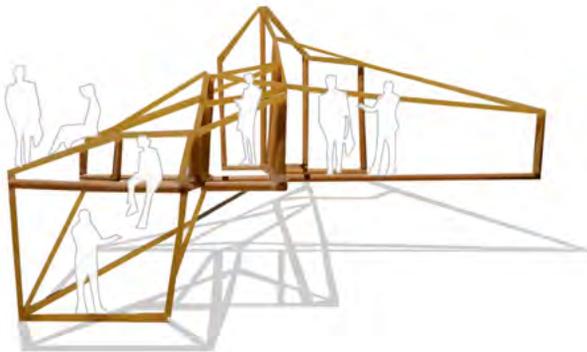


Figura 23. Tridimensionalización Agüero Catalina, 2020 redibujado por Valentín Brügger, 2021.

Ramificación ceraunológica - Rayo perla⁵

Experimentación

Se inicia el proceso de diseño a partir de la interpretación de una imagen del fenómeno ceraunológico. A continuación, se detectan los componentes geométricos (puntos y líneas) y se realiza una lectura de ejes principales. A partir de la síntesis de los nodos encontrados se determina una estructura de red, que se condice con un patrón tipo rayo perla.

Construcción de trazados reguladores

La construcción del trazado se define desde relaciones de enlaces para una estructura de red distribuida. Se realiza un análisis para el estudio del modo en que esta red compone sus vínculos, a partir de clasificar los nodos según la cantidad de enlaces que presenta. En la figura 27 se reconocen tres grupos.

Construcción tridimensional

El estudio de vínculos previo es utilizado para resolver la construcción tridimensional como lógica de crecimiento. Para la misma se construye un esquema bidimensional de ramificación, en relación a la cantidad de enlaces.

⁵ Experimentación proyectual del estudiante Edwin Scheffer.

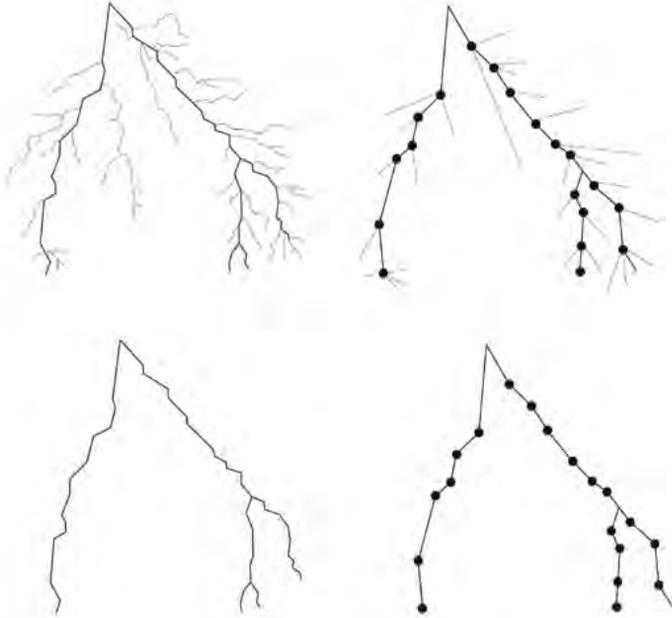


Figura 24. Lectura del fenómeno ceraunológico. Detección de los componentes geométricos (puntos y líneas) y lectura de tramos de los segmentos a partir de encontrar los puntos de bifurcación.

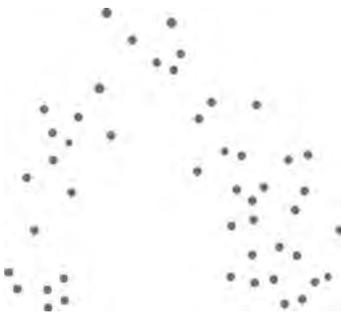


Figura 25. Síntesis de los nodos detectados para la elaboración de la estructura de red.



Figura 26. Trazado regulador de red distribuida.



Figura 27. Estudio de la construcción de vínculos del trazado regulador.

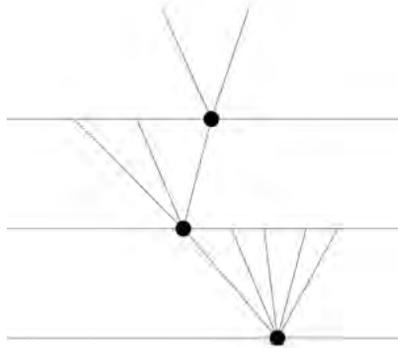


Figura 28. Esquema de crecimiento ramificado para la construcción tridimensional.



Figura 29. Fotografía de estructura ramificada tridimensional.

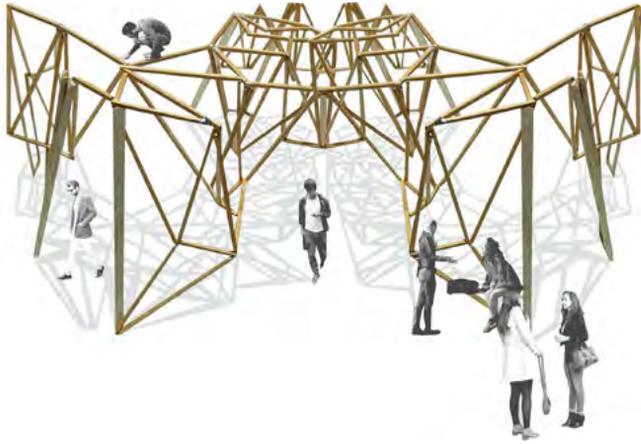


Figura 30. Fotografía del modelo tridimensional.

Ramificación botánica - Leeuwenberg A⁶

Experimentación

La experiencia inicia con el estudio de un registro fotográfico de árboles, desde el que se detectan sus ramificaciones y jerarquías. A partir de la lectura de grosores de ramas y su disposición se identifican los componentes geométricos de puntos y líneas para la producción de un esquema gráfico bidimensional. Según la lectura gráfica responde a un patrón botánico tipo Leeuwenberg.

Construcción de trazados reguladores

Para la construcción del trazado regulador se determina una estructura de red descentralizada, a partir encontrar los puntos en donde se producen las bifurcaciones de las ramificaciones, y se ordena en una trama ortogonal, sintetizando la posición de sus ramas con una orientación angular dentro de la trama.

⁶ Experimentación proyectual del estudiante Leandro Rodríguez.

Construcción tridimensional

Para el crecimiento tridimensional se selecciona una sección del trazado que constituye el elemento de base a utilizar en su construcción. Este se repite múltiples veces y se posiciona en semicírculo. Así determinan un primer esquema tridimensional de espacio tectónico.



Figura 31. Estudio de jerarquías desde los espesores de las ramas y de sus componentes (puntos y líneas).

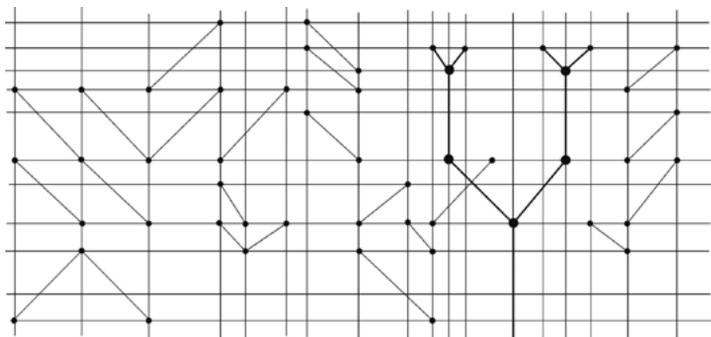


Figura 32. Trazado regulador en una trama ortogonal.

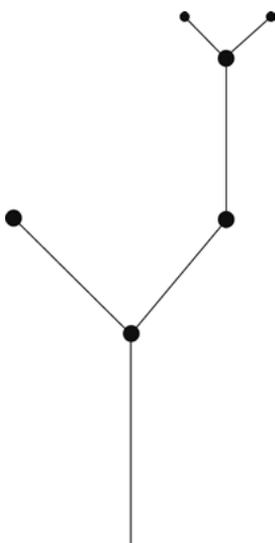


Figura 33. Selección de la sección del trazado que permite construir la tridimensionalización.



Figura 34. Crecimiento tridimensional repetición de secciones múltiples agrupadas de manera semicircular.

Ramificación botánica - Leeuwenberg B⁷

Experimentación

Desde la imagen de una estructura ramificada de árboles se detectan los componentes geométricos de interés (puntos, líneas, superficies). También específicamente se indican los puntos desde los cuales se producen las bifurcaciones y se muestra su estructura de crecimiento ascendente. Estos aspectos permiten distinguir densidades en función de la cantidad de líneas y puntos detectados.

Construcción de trazados reguladores

Los puntos significativos se utilizan para construir una estructura teselar. En una instancia siguiente se reorganizan los mismos en una trama ortogonal. De este modo, se configura el trazado teselar en donde se reconocen y mantienen las densidades detectadas.

Construcción tridimensional

Para la tridimensionalización se utiliza el reconocimiento de las densidades estudiadas. De esta manera se decide que las partes de mayor densidad crecen en sentido ascendente (desde las aristas de cada tesela hacia su centro) y de manera descendente en las partes de menor densidad.

⁷ Experimentación proyectual del estudiante Santiago Bertone.

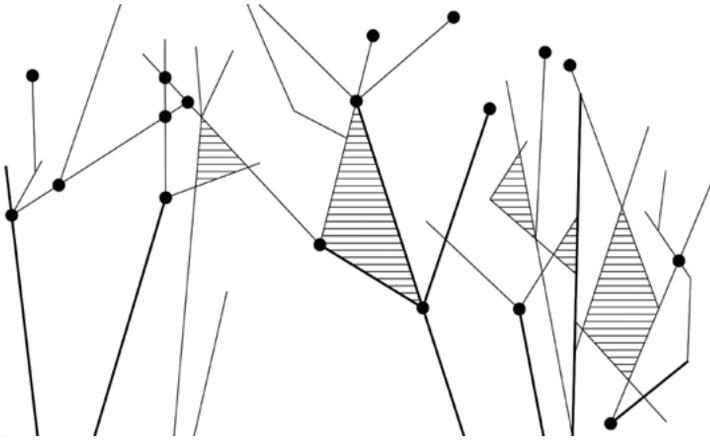


Figura 35. Análisis de ramificaciones: Identificación de los componentes geométricos (puntos, líneas, superficies).

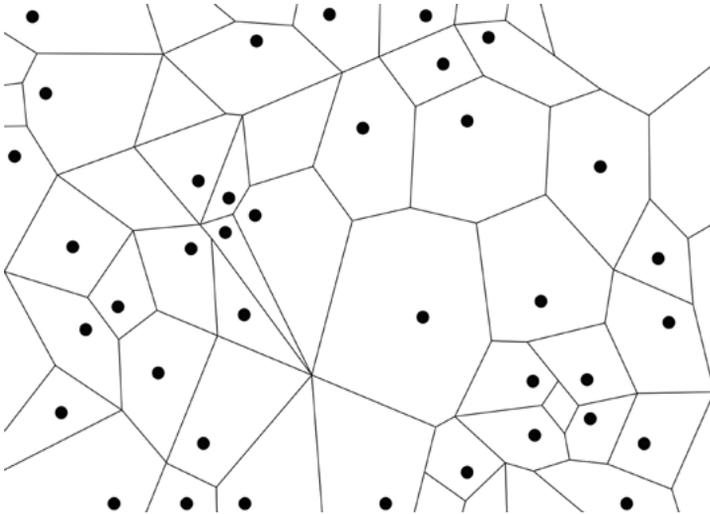


Figura 36. Estructura teselar a partir de los puntos detectados.

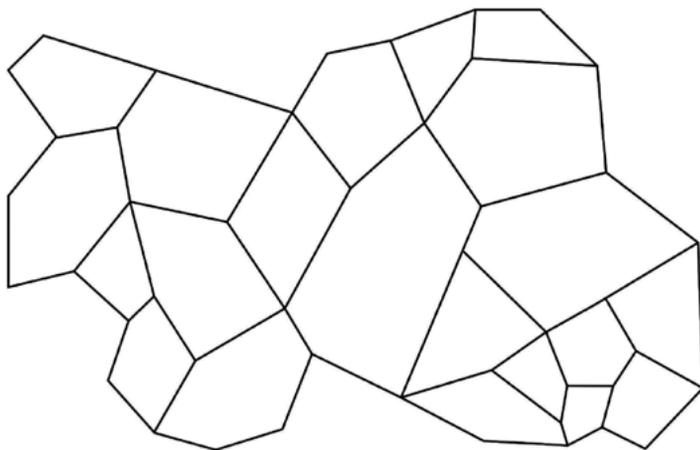
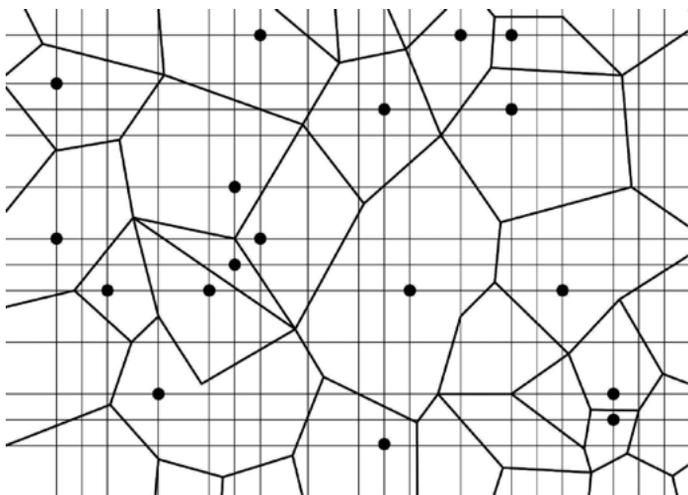


Figura 37. Gráficos de teselación y de trazado elaborados por el estudiante Santiago Bertone, 2020, y redibujados por Valentín Brügger, 2021.

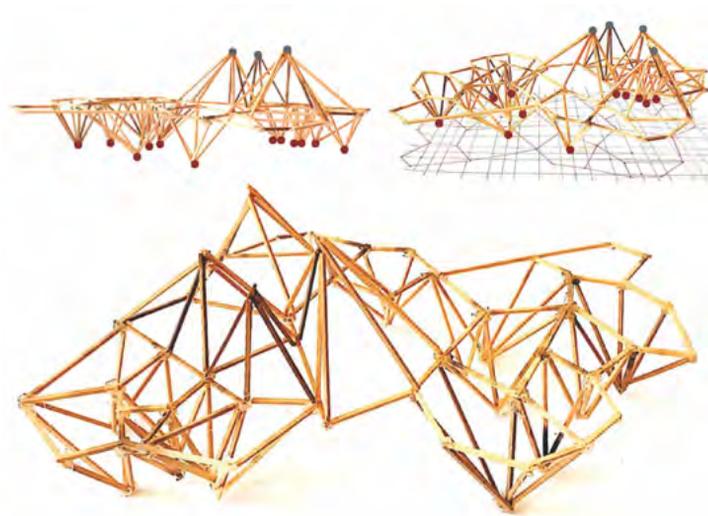


Figura 38. Fotografías de modelo en donde se muestran las acciones de proyectar puntos hacia arriba y hacia abajo, realizada por el estudiante Santiago Bertone, 2020, editado por Valentín Brügger, 2021.

CAPÍTULO 4 CINEMÁTICA

Carlos Merlo

El concepto “cinemática” proviene del griego *Kínema* y significa “movimiento”. La cinemática estudia los movimientos prescindiendo de las fuerzas que lo producen, es decir limita su estudio a las trayectorias generadas. El movimiento de los cuerpos ha sido objeto de interés del desarrollo científico y tecnológico. Los primeros documentos se remontan a más de dos milenios, asociados con distintas ramas del conocimiento, como la astronomía, geometría y filosofía. En el 1600 Galileo Galilei desarrolla los estudios sobre caída libre y el movimiento del péndulo que establecen las bases para una ciencia experimental, la cual comienza con la medición precisa del tiempo. El término cinemática y el enfoque científico de la disciplina actual son introducidos por Ampère, en un ensayo sobre la clasificación de las ciencias que establece los límites del contenido de esta materia dentro del campo de la física mecánica.

Se considera como uno de los primeros antecedentes a los estudios realizados por Lissajous (1850) que definen la trayectoria de un movimiento armónico, complejo y bidimensional, de manera visual a través de las denominadas curvas o figuras de Lissajous. En esa instancia, las producciones se realizan mediante un dispositivo, el cual consiste en un haz de luz que se refleja desde un espejo sujeto a un diapasón¹ y se proyecta en una pizarra dispuesta perpendicularmente. Al proyectarse sobre un plano, el haz de luz

¹Dispositivo de acero doblado en forma de horquilla que, al sonar, vibra 440 Hz por segundo, correspondientes a la nota “la” para regular voces e instrumentos musicales.

genera curvas o figuras que varían su forma según la frecuencia del sonido, como se ilustra en la figura 1. A partir de esta experiencia inicial, comienza el desarrollo de otros instrumentos y aparatos, entre los que se encuentran desde los simples péndulos de tinta o arena hasta los espirógrafos y armonógrafos.

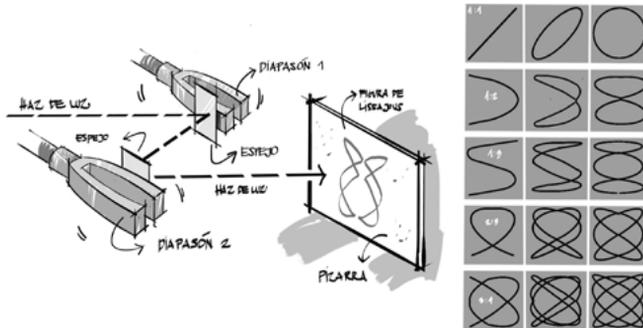


Figura 1. Experimento Lissajous: curvas o figuras obtenidas.

El péndulo de arena o tinta es un instrumento simple que consta de un hilo o cuerda, en cuyo extremo posee un recipiente que contiene las sustancias y permite plasmar en un plano horizontal el recorrido o la trayectoria del movimiento pendular. Con el mismo concepto se genera el péndulo esférico de Foucault, que puede moverse en cualquier dirección en relación a un plano horizontal.

El espirógrafo consiste en una serie de engranajes o ruedas circulares que giran unas sobre otras. Los diferentes tamaños y formas de los engranajes posibilitan desarrollar gran variedad de trazados y combinaciones. Las curvas que generan -estudiadas por Leibniz y Newton en el siglo XVII- son de la familia de las hipotrocoides y epitrocoides. Se trata de curvas contenidas en un plano que describen puntos vinculados a circunferencias generatrices que se mueven dentro de circunferencias directrices, tangencialmente, y sin deslizamiento.

El armonógrafo es un instrumento mecánico que utiliza péndulos para la generación de figuras lineales mediante el

movimiento de un elemento estilográfico con cartucho de tinta en relación con una superficie plana. Uno de los péndulos mueve el estilógrafo a lo largo de un eje y el otro péndulo mueve la superficie de dibujo en un eje perpendicular. Al variar la frecuencia de los péndulos, se crean diferentes patrones. Los armonógrafos más sofisticados, pueden incorporar tres o más péndulos unidos entre sí y dibujar figuras combinadas.

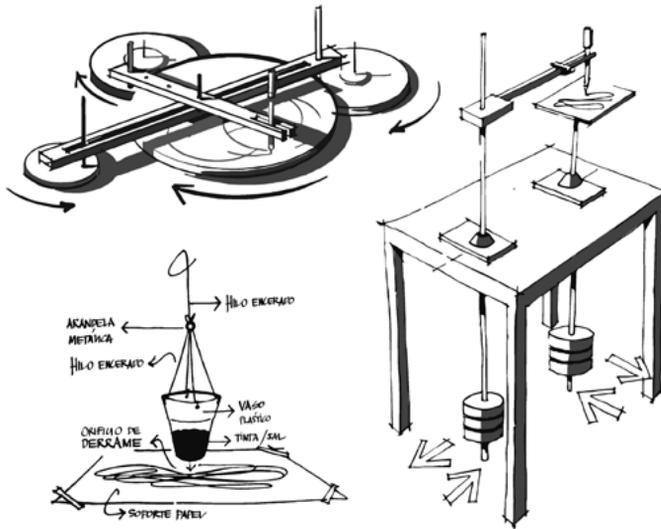


Figura 2. Péndulo de tinta, Espirógrafo, Armonógrafo.

Además, existen programas informáticos que se desarrollan para la generación de modelos de curvas oscilatorias de manera digital que simulan la combinación de diferentes tipos de movimientos, por lo tanto, se pueden explorar trayectorias complejas. Estos programas poseen variables de parámetros como la frecuencia y amplitud para generar trayectorias en dos y tres dimensiones.

En el campo de conocimiento de la arquitectura se pueden referenciar proyectos relacionados con el concepto de movimiento en su resolución formal espacial, como la obra *Twist* de Zaha

Hadid (Milán, 2018) en la que se aplican las trayectorias en la expresión formal y espacial de la propuesta. Sin embargo, es en el arte cinético donde se encuentra mayor cantidad de obras de referencia. Las mismas se categorizan según el tipo de movimiento, por ejemplo: aparente en la obra de Julio Le Parc y real para el caso de Alexander Calder. En esta última línea se rescatan también como antecedentes de interés las obras de Naum Gabo, en las cuales se plantea una relación entre el movimiento y las trayectorias (reales o aparentes) que se abordan de manera plástica y aportan el concepto a la definición tridimensional de la escultura. Por otra parte, se reconocen los trabajos de James Nolan Gandy con espirógrafos complejos, que resultan de interés para la investigación en la etapa de indagación de las trayectorias de movimiento.

Transferencia de principios de cinemática a la experimentación proyectual

Los distintos movimientos de los elementos que conforman los dispositivos generan imágenes gráficas que se sintetizan en esquemas geométricos para su análisis.

Centralizado

Este tipo es generado por un péndulo simple (dispositivo) en el cual el soporte gráfico no posee movimiento. Las imágenes resultantes de la acción del péndulo presentan un único centro geométrico definido por la rotación de trayectorias elípticas en torno a este. Se reconoce una dirección o eje predominante.

Descentralizado

Generado por un péndulo complejo o armonógrafo (dispositivo) en los cuales, además de moverse el péndulo cargado con tinta o pluma respectivamente, posee movimiento el soporte donde

se generan los gráficos. Las imágenes resultantes de la acción presentan múltiples centros definidos por la rotación de trayectorias elípticas. No se reconoce una dirección o eje único que predomine con respecto a otro.

Muticentralizado

Tipo generado por la acción de un espirógrafo (dispositivo). En este caso, posee movimiento la pluma estilográfica y la base donde se generan los gráficos que representan curvas cíclicas. Las imágenes resultantes presentan dos o más centros definidos por la rotación de trayectorias cíclicas. No se reconoce una dirección o eje único predominante.

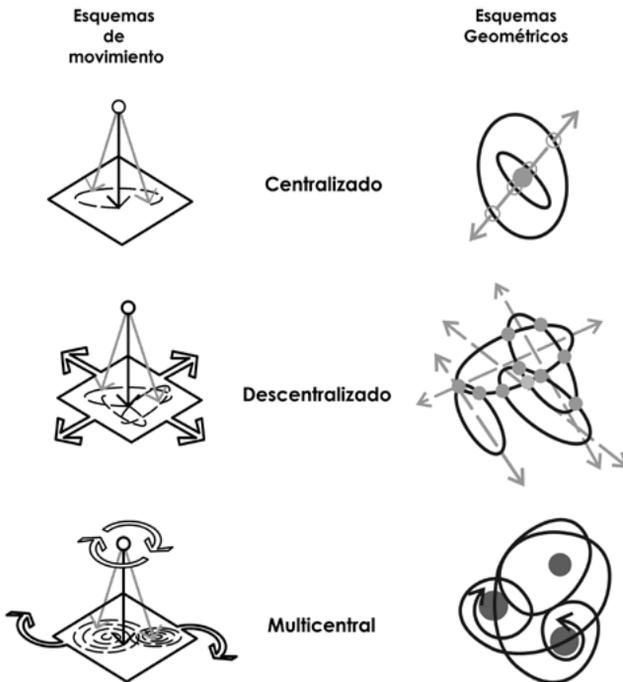


Figura 3. Esquemas geométricos y de movimiento.

En este capítulo se presenta una serie de ensayos proyectuales que inicia con el análisis de las imágenes obtenidas en experimentaciones realizadas con péndulos simples, cargados con sustancias líquidas o sólidas granulares como la tinta o sal fina. Los abordajes de estas prácticas tienen como fin el desarrollo de propuestas de morfogénesis arquitectónicas con base en principios y lógicas provenientes de otras disciplinas.

Los instrumentos utilizados y desarrollados para la visualización del movimiento se consideran de particular interés en esta propuesta. La imagen gráfica de las distintas experiencias determina la base para el abordaje del diseño espacial en arquitectura. Se analizan las distintas lógicas geométricas existentes en cada una de ellas y son el insumo para el proceso de diseño en el ámbito de las experimentaciones realizadas en esta investigación.

Las experiencias se concentran en reconocer e indagar por medio de artefactos que posibilitan la visualización de movimientos; esto puede caracterizarse como representar para entender, clasificar, tabular resultados y traducirlos a matrices gráficas que forman parte del proceso de diseño. Se utilizan péndulos que disponen de un embudo para su carga con sustancias. Los mismos permiten representar la trayectoria de sus movimientos sobre superficies planas suspendidas por hilos, que pueden moverse de forma oscilatoria e independiente al péndulo, lo que favorece la complejidad geométrica de los resultados gráficos.



Figura 4. Experiencia de campo: trazados pendulares obtenidos con sal, 2019.

Estas experiencias se organizan en tres instancias: en la primera se experimenta directamente con el péndulo, con cambios de dirección de la oscilación, interrupción y reiteración del movimiento. Esta instancia plantea un momento inicial de familiarización en el manejo del artefacto y la exploración de los materiales con los cuales se trabaja por prueba y error como, por ejemplo, la viscosidad requerida en la preparación de la tinta. Se experimenta sobre las variables intervinientes del proceso, tales como la dirección, la fuerza inicial aplicada o el caudal de sustancia granular y se reconoce de qué manera inciden en el dibujo de la trayectoria. Todo el proceso de experimentación se registra a través de videos, fotografías y apuntes gráficos.

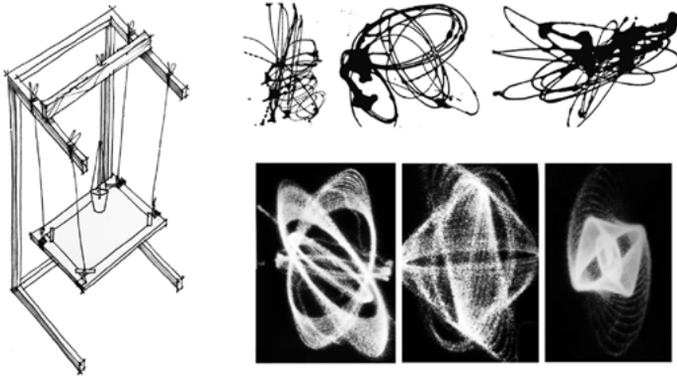


Figura 5. Péndulo utilizado en la experiencia. Trazados pendulares obtenidos con tinta y sal, 2019.

La segunda instancia consiste en el análisis gráfico de las imágenes de las trayectorias obtenidas, para identificar los patrones mecánicos subyacentes a través de sus componentes esenciales -el punto, la línea, el plano- y las relaciones entre ellos. Se reconocen distintas estructuras geométricas emergentes de las trayectorias pendulares para la detección de los patrones y la posterior construcción de los trazados reguladores bidimensionales. La información se desglosa en distintos *layers*, “capas” que permiten, además, la interrelación y el análisis gráfico.

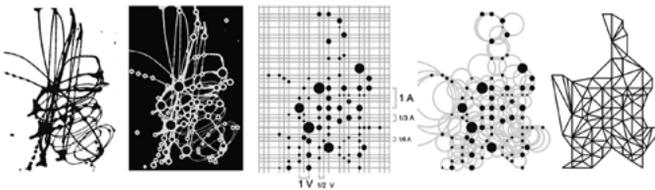


Figura 6. Proceso de generación del trazado regulador. Estudiante: López-Sivilat María Paz, 2020.

En la tercera instancia se realiza la selección de las estructuras geométricas producidas en la instancia anterior. La operación

con una de estas, o mediante la vinculación de varias, propicia la generación de trazados reguladores para el abordaje de formas protoarquitectónicas, desde su construcción tridimensional.

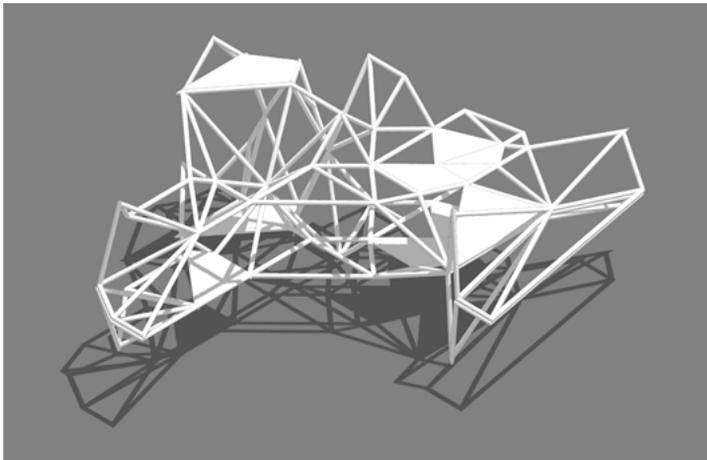
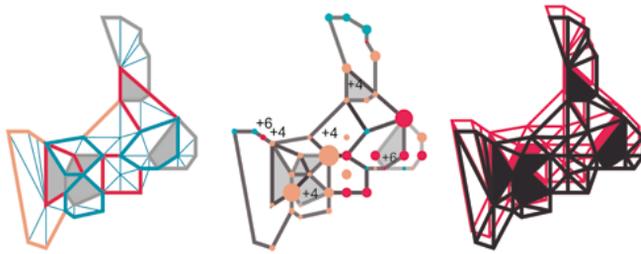


Figura 7. Proceso de generación del trazado regulador. Estudiante: López-Sivilat María Paz, 2020.

Se construyen modelos espaciales para la prefiguración del espacio arquitectónico en función a los trazados propuestos. Al mismo tiempo se incorporan otros criterios tales como: jerarquía de elementos, leyes de crecimiento y escala humana.

Dentro de los resultados se observan algunos procedimientos que se utilizan de modo reiterado para la generación de los trazados, como la superposición de las trayectorias generadas por el péndulo o la selección y ampliación de un sector de la imagen gráfica de interés. Se acude también a un proceso de síntesis o reconocimiento de elementos básicos y de relaciones geométricas. Estos procedimientos concluyen con la definición de un trazado regulador.

A partir de la experiencia común se identifica diversidad de propuestas, en términos del diseño de la espacialidad arquitectónica. Los ejercicios permiten ampliar la mirada sobre los procesos convencionales de morfogénesis y determinan un punto de partida o disparador alternativo. A continuación, se presenta una serie de casos referentes de los procesos abordados. La mayoría de ellos parte del análisis de una misma figura elaborada con péndulo cargado con sal. La elección de los mismos tiene como objetivo principal poder mostrar procesos diferentes y particulares que parten de una misma imagen gráfica. También se reseña un caso en el que la imagen gráfica se realiza en la experiencia del péndulo cargado con tinta y su análisis se aborda en relación con las lógicas de trayectorias particulares que originan dicha sustancia.

Iteración tridimensional²

Experimentación cinemática

El experimento consiste en la utilización de un artefacto que posee dos componentes. El primero es un péndulo configurado por un recipiente que contiene una sustancia líquida o sólida granular (masa pendular) que es sostenido por un hilo a

2 Proceso de exploración proyectual del estudiante Valentin Izquierdo.

un punto fijo. Este recipiente se mueve libremente en el plano vertical y posee un orificio en su base que permite la evacuación progresiva de la sustancia con la que se rellena. El segundo componente es un plano horizontal configurado por una plancha de madera rectangular de 50 x 60 cm que sirve de base para el apoyo de un soporte gráfico (papel). Esta plancha de madera está sostenida en sus cuatro vértices por hilos, por lo que este soporte también es capaz de oscilar de manera independiente al movimiento del péndulo (figura 4).

La experimentación consiste en la carga del recipiente con sal de granulometría fina. A continuación, se aplica una fuerza horizontal que produce movimiento oscilatorio, al igual que a la base horizontal. La sustancia que cae sobre la base genera líneas de trayectorias como registro del movimiento del péndulo, configurando un patrón de tipo descentralizado. A través del registro fotográfico se obtiene una imagen de dichas trayectorias, que se utiliza para la construcción del trazado regulador.

Trazado regulador

El proceso de diseño se inicia a partir del registro cinético, en el que se detectan unidades geométricas elementales como líneas y puntos. Al sintetizar la lectura de la imagen, se ordena geométricamente la estructura de trayectorias. Se detectan puntos de interés dentro de la trayectoria descrita por el movimiento del péndulo, correspondientes a los cambios de dirección. Mediante la unión de estos puntos se reconocen dos ejes principales. Los puntos seleccionados se disponen sobre una trama regular, mediante la cual el trazado obtiene precisión geométrica. Se propone una síntesis del trazado conformado por el eje longitudinal de la imagen y dos triángulos rectángulos adyacentes al mismo, que conforman un trazado de triangulación.

Construcción tridimensional

Se asigna una altura a los puntos terminales en el eje longitudinal de los triángulos rectángulos y se conforman dos prismas de base triangular. Estos prismas son utilizados como iniciadores de la construcción tridimensional por medio de acciones de iteración.

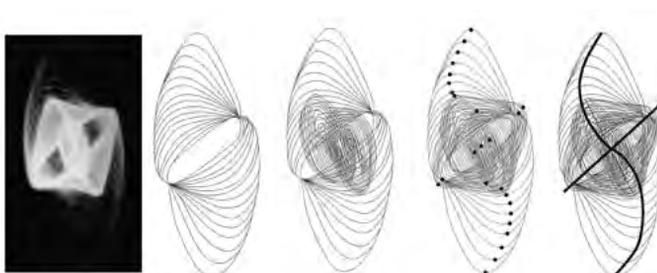


Figura 8. Regularización geométrica y reconocimiento de unidades geométricas elementales a partir de imagen de péndulo de sal. Trabajo del estudiante Valentín Izquierdo, 2020. Redibujado por Rodrigo Alarcón, 2021.

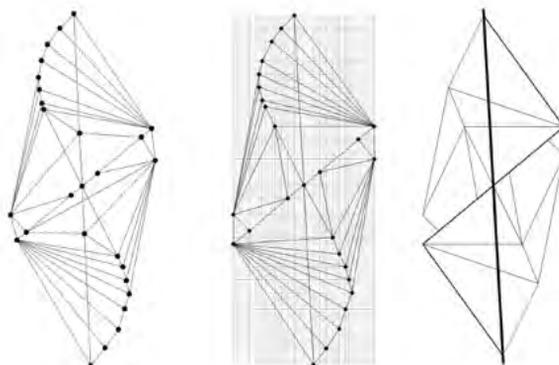


Figura 9. Análisis geométrico y síntesis. Trabajo del estudiante Valentín Izquierdo, 2020. Redibujado por Rodrigo Alarcón 2021.

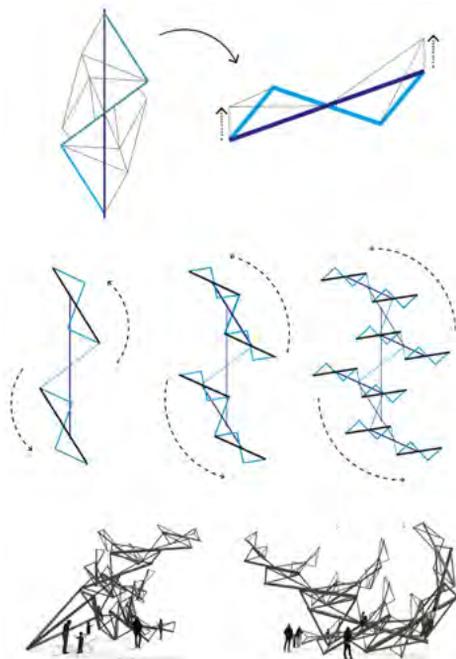


Figura 10. Construcción tridimensional a partir del proceso de iteración. Trabajo del estudiante Valentín Izquierdo, 2020. Redibujado por Rodrigo Alarcón 2021.

Segmentación tectónica³

Experimentación cinemática

La experimentación consiste en cargar el recipiente pendular con sal de granulometría fina y se aplica una fuerza en sentido horizontal. Posteriormente se provoca un movimiento de oscilación. Al mismo tiempo, se mueve el soporte horizontal. La sustancia cae sobre la base y genera líneas de trayectorias que registran el movimiento oscilatorio del péndulo formando imágenes cinemáticas

³ Proceso proyectual desarrollado por el estudiante Francisco Molina.

derivadas de esquemas geométricos del tipo descentralizado. A través del registro fotográfico se obtiene una imagen de dichas trayectorias, que se utiliza para la construcción del trazado regulador.

Trazado regulador

La imagen cinemática obtenida es regularizada geoméricamente y sus curvas son definidas con mayor precisión. Se seleccionan algunas curvas cuyas trayectorias se vinculan gráficamente con una trama ortogonal de base. La trama ortogonal de base posee rigurosidad geométrica por la proporción que relaciona los ejes X e Y. Se trazan círculos en las intersecciones de estos ejes, cuyos centros y diámetros definen las tangentes de curvas propuestas como base para el trazado regulador. Se produce la repetición de las curvas con el mismo criterio de mantener la proporción de la trama subyacente.

Construcción tridimensional

Se propone una configuración tectónica, en la cual las curvas son segmentadas en función de mantener el criterio proporcional. El vínculo se diseña con el siguiente criterio: los segmentos horizontales y verticales se conforman por dos elementos filares paralelos (varillas de madera de sección cuadrada) y los segmentos oblicuos se conforman por un sólo elemento filar (figura 12).

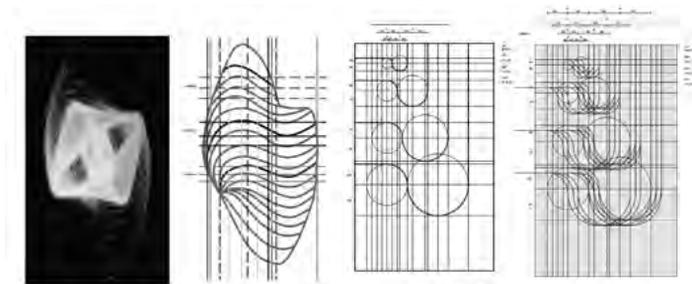


Figura 11. Abordaje al trazado regulador a partir de imagen de péndulo de sal. Trabajo del estudiante Francisco Molina, 2020. Redibujado por Rodrigo Alarcón, 2021.

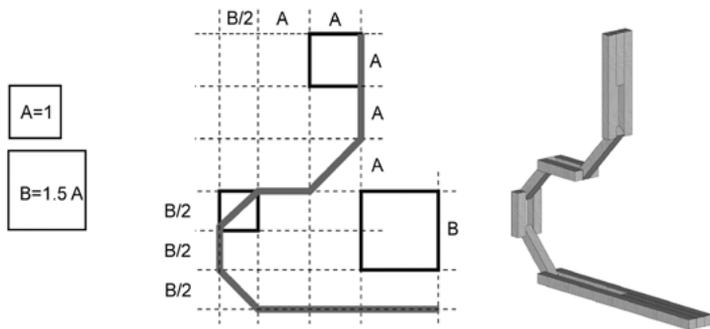


Figura 12. Segmentación de la curva y propuesta de vínculo. Trabajo del estudiante Francisco Molina, 2020. Redibujado por Rodrigo Alarcón, 2021.

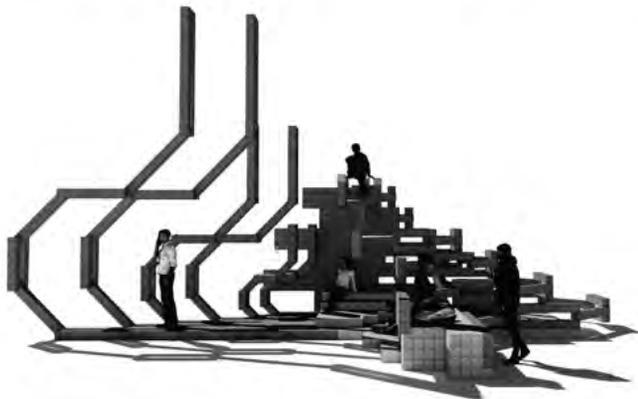


Figura 13. Fotografías de maqueta de estudio: tridimensionalización a partir del proceso de repetición y escalado del modelo. Trabajo del alumno Francisco Molina, 2020. Redibujado por Rodrigo Alarcón, 2021.

Teselado espacial⁴

Experimentación cinemática

La experimentación consiste en la carga del recipiente pendular con tinta y la aplicación de una fuerza horizontal oscilatoria. Al mismo tiempo, se produce movimiento de la base de madera. La tinta que cae sobre la base horizontal genera líneas de trayectorias que registran el movimiento oscilatorio del péndulo y producen imágenes cinemáticas que configuran un patrón de tipo descentralizado. A través del registro fotográfico se obtiene una imagen de dichas trayectorias, que se utiliza para la construcción del trazado regulador.

Trazado regulador

En la imagen cinética se detectan los puntos que responden a las intersecciones de las trayectorias junto a las gotas de tinta aisladas. Los puntos se disponen con orden geométrico en una trama de base ortogonal, con lógica proposicional. Por medio de la triangulación de Delaunay se arriba a la definición del trazado regulador.

Construcción tridimensional

Se selecciona un sector del trazado regulador y se asignan alturas para el desplazamiento de los vértices de cada triángulo. Se conforman superficies laminares que comprenden algunos de los triángulos. Estas superficies permiten la definición de limitantes como envolvente espacial.

⁴ Exploración proyectual de la estudiante María Paz López Sivilat.

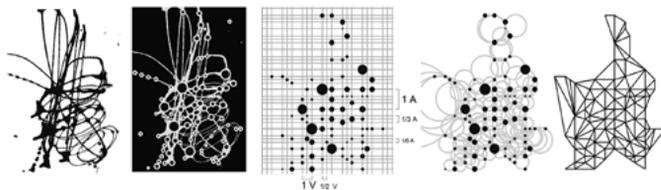
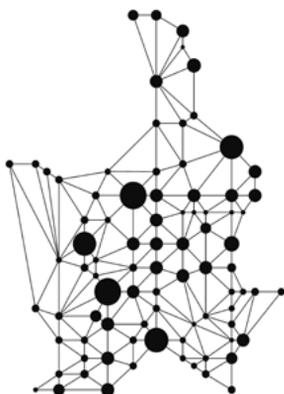


Figura 14. Construcción tridimensional a partir de imagen de péndulo de sal. Trabajo de la estudiante López-Sivilat María Paz, 2020.



▲ Figura 15. Construcción tridimensional a partir de imagen de péndulo de sal. Trabajo de la estudiante López-Sivilat María Paz, 2020.

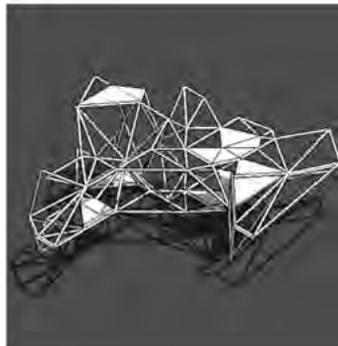
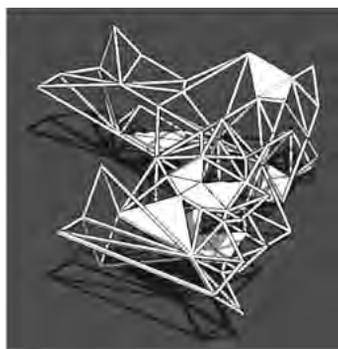


Figura 16. Configuración tridimensional a partir de imagen de péndulo de sal. Trabajo de la estudiante López-Sivilat María Paz, 2020. ►

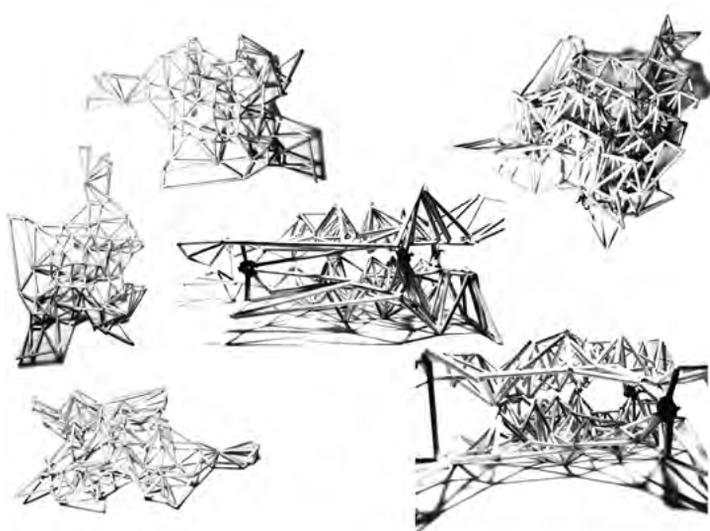


Figura 17. Configuración tridimensional a partir de imagen de péndulo de sal. Trabajo de la estudiante López-Sivilat María Paz, 2020.

Curvas topológicas⁵

Experimentación cinemática

La experimentación consiste en la carga del recipiente pendular con tinta y la aplicación de una fuerza horizontal oscilatoria. Al mismo tiempo, se produce movimiento de la base de madera. La sustancia que cae sobre la base horizontal genera líneas de trayectorias que registran el movimiento oscilatorio del péndulo formando imágenes cinemáticas de tipo descentralizado. A través del registro fotográfico se obtiene una imagen de dichas trayectorias, que se utilizan para la construcción del trazado regulador.

Trazado regulador

En la imagen cinética se identifican unidades geométricas (puntos) en los cuales la trayectoria del péndulo cambia su dirección. En una instancia posterior se determina que los puntos detectados se ordenen sobre circunferencias, cuyos centros están dispuestos en el eje longitudinal de la imagen. Mediante el *scaling* del trazado cobra resolución.

Construcción tridimensional

El trazado es transferido a un plano bidimensional (papel) para orientar acciones de corte, torsión y curvado y, de ese modo, se indaga en la configuración topológica de la superficie espacial.

⁵ Exploración proyectual abordada por la estudiante Milagros González.

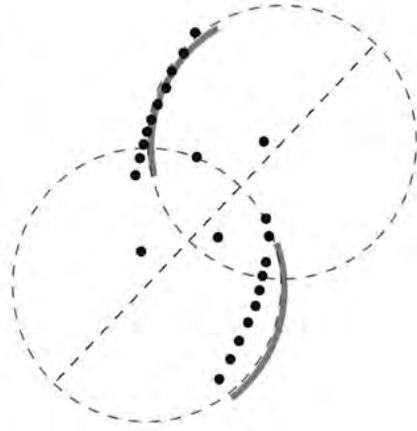


Figura 18. Abordaje al trazado geométrico a partir de imagen de péndulo de sal. Trabajo de la estudiante Milagros González, 2020. Redibujado por Rodrigo Alarcón 2021.

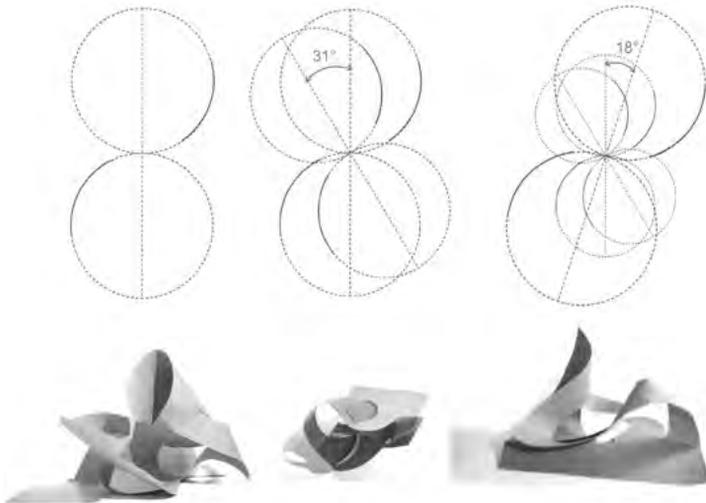


Figura 19. Construcción tridimensional y exploraciones de configuración topológica. Trabajo de la estudiante Milagros González, 2020. Redibujado por Rodrigo Alarcón 2021.

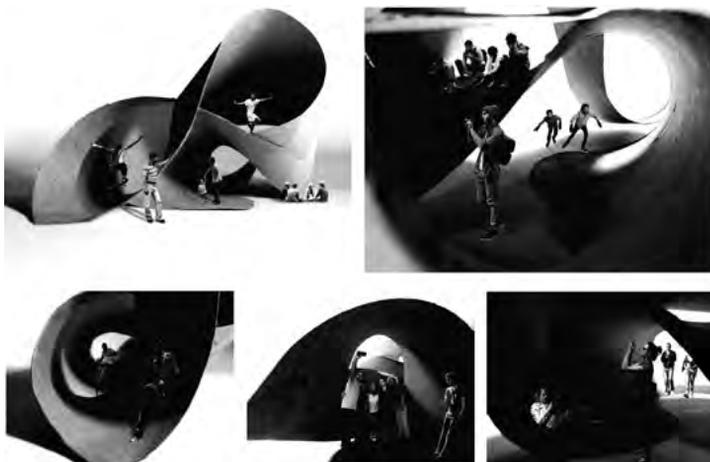


Figura 20. Construcción tridimensional y exploraciones de configuración topológica. Trabajo de la estudiante Milagros González, 2020. Redibujado por Rodrigo Alarcón 2021.

CAPÍTULO 5 CIMÁTICA

Álvaro Coria

La cimática “se encarga del estudio de las representaciones visuales de las ondas de sonido y los fenómenos periódicos de vibración sobre la materia” (Lega-Lladós, 2015: 124). Este vocablo tiene su raíz etimológica en la palabra del griego *kyma*, que significa “onda”, en referencia a las ondas de sonido. En cimática no se estudian los fenómenos vibratorios en sí, sino los efectos de las vibraciones sobre diferentes sustancias. Esta “...se ocupa principalmente de la demostración experimental de fenómenos en el rango acústico y de ultrasonidos inferiores” (Jenny, 2001: 20). Estos efectos de la vibración permiten experimentar visualmente aquello que oímos.

Inicialmente, este fenómeno se conoce como figuras de Chladni desde finales del siglo XVIII, en referencia a las imágenes de los patrones registrados por Ernst Chladni, quien lleva a cabo los primeros experimentos. Su denominación actual se da en 1964, cuando Hans Jenny propone el término cimática, que se aplica desde entonces para referir a este campo de estudio. El mencionado autor, a través de sus aportes, consolida esta disciplina con la incorporación de equipos y tecnologías como generadores de frecuencias que posibilitan realizar estudios con mayor grado de precisión. Además, incorpora otras sustancias a los ensayos de los efectos de la vibración y realiza un amplio registro fotográfico y fílmico de los patrones resultantes. Estos dos autores son los referentes más destacados, ya que realizan los aportes de mayor relevancia, que determinan el inicio y el desarrollo de los estudios en este campo de conocimiento.

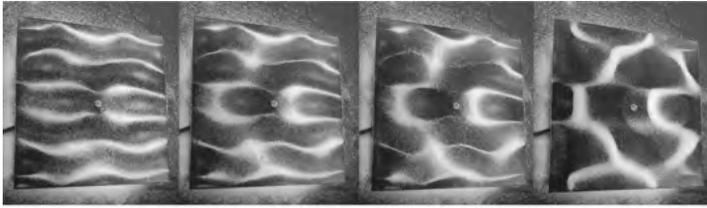


Figura 1. Secuencia de transición en figuras de Chladni, resultado de la exploración en el Taller Morfología 2B. Álvaro Coria, 2019.

Antecedentes y desarrollo de la cimática

Se pueden reconocer diferentes momentos en el desarrollo de la cimática, en los que es importante destacar cómo se modifica el abordaje de estudio de la misma desde diversas disciplinas. Si bien los estudios realizados por Chladni dan origen a la investigación científica de la cimática, existen registros de imágenes y patrones realizados por diferentes culturas con anterioridad que dan cuenta del reconocimiento de los fenómenos periódicos de vibración sobre la materia. Estos se constituyen en los primeros antecedentes. Luego de las primeras investigaciones llevadas a cabo por Chladni enmarcadas en los campos de la física y la acústica, les suceden nuevos estudios en física, matemática y geometría. Finalmente, se arriba a los estudios actuales de carácter experimental y fenomenológico. Se presenta una breve descripción de los antecedentes más relevantes, momentos y etapas mencionados que se producen en la cimática.

Entre las primeras manifestaciones y registros de patrones cimáticos se encuentran los relieves tallados en piedra del conjunto megalítico de los templos *Hal Traxien*, en Malta -data aproximadamente del 3600-2150 a. C.-. Por su parte, en algunos mandalas se pueden identificar patrones análogos a los que derivan de los efectos de la vibración sobre el agua, como los que se observan al hacer vibrar los cuencos tibetanos. También caben mencionar las figuras talladas en piedra en la *Capilla de Roslyn*, en Escocia

(siglo XV), en las que se pueden identificar algunas figuras que luego son referenciadas por Chladni. En estos ejemplos se pone de manifiesto no sólo el reconocimiento de ciertos fenómenos cismáticos, sino también la utilización de los patrones como insumo para la producción de imágenes.

Las primeras investigaciones de esta disciplina se producen en el campo de la acústica. Si bien estos fenómenos no eran desconocidos, es a través del *Tratado de acústica* de Ernst Chladni en 1808 que cobran notoriedad. El autor desarrolla una explicación de los efectos de la vibración sobre diferentes sustancias, a los que denomina procesos de formación nodal -en referencia a los nodos de las placas en los que la vibración es nula- y expone diversos estudios sobre los efectos generales de la vibración sobre la materia. En esta publicación se documentan los experimentos que realiza, los cuales consisten en esparcir sustancias granulares como arena sobre una placa metálica, que es sometida en su borde externo a la fricción de un arco de violín, y debido a la vibración ejercida por el arco se producen patrones denominados figuras de Chladni. En estos experimentos, “dependiendo del ángulo que formaba el arco con la placa y del lugar en donde se posaban las yemas de los dedos, la arena formaba figuras regulares a medida que se frotaba el arco...” (Arango, Escobar y Reyes, 2012: 6). Este hecho le permite a Chladni deducir que, al cambiar la tonalidad o vibración, también lo hace la figura. El autor es el primero en registrar y sistematizar dichas imágenes a través de dibujos. Su investigación no atiende sólo a los aspectos visuales, sino que además intenta dar una explicación a las causas por las que ciertas sustancias manifiestan patrones al ser afectadas por las vibraciones del sonido y, para este fenómeno, desarrolla una ecuación.

En continuidad con las investigaciones mencionadas, se desarrollan estudios centrados en dar demostración matemática y en comprender el comportamiento físico de los efectos de las vibraciones, con el fin de dar explicaciones de sus causas, más allá de su manifestación visual. En 1817, Germain encuentra una ecuación

diferencial que permite explicar estos fenómenos. Por su parte, Strutt crea, en 1904, un nuevo procedimiento para medir las vibraciones acústicas: explora los fenómenos modales en profundidad y las vibraciones de las placas desde la física. Luego de estos trabajos, se llevan a cabo experiencias con énfasis audiovisual que permiten divulgar y dar a conocer diferentes manifestaciones cimáticas. Entre las mismas se encuentran las “Figuras de voz”, realizadas por Watts-Hughes, quien desarrolla en 1885 una serie de experimentos a través de un dispositivo denominado *eidophone*. Este consiste en una cámara de resonancia de madera con un extremo abierto cubierto por una membrana de goma, que a la vez se cubre con arena, polvo de licopodio. Al emitir el sonido de la voz mediante un tubo conectado a la cámara de resonancia, se produce una serie de patrones. En 1904 publica sus experimentos en el libro *Eidófono; Figuras de voz: formas geométricas y naturales producidas por vibraciones de la voz humana*. Además, cabe mencionar el trabajo de Waller, en cuyo libro *Figuras de Chladni, un estudio de simetría* de 1961 se presenta el análisis y clasificación geométrica de las figuras de Chladni. De esta manera se puede reconocer un cambio en los aspectos estudiados, inicialmente desde la matemática y la física, hacia los aspectos visuales y geométricos.

Transcurren más de cien años desde la publicación del *Tra-tado de acústica* de Chladni, que da origen a los estudios cimáticos, hasta la publicación de los libros de Jenny: *Cimática, estructura y dinámica de las ondas y vibraciones* (1967) y *Fenómenos ondulatorios, efectos vibratorios y oscilaciones armónicas con su estructura, cinética y dinámica* (1974), que marcan el mayor desarrollo realizado hasta entonces en este campo. En estas dos publicaciones, el autor registra y sistematiza las producciones de los experimentos empíricos y fenomenológicos, sin dar respuesta a las causas físicas o matemáticas. Su trabajo busca demostrar la presencia de la vibración y sus efectos en el mundo natural, para lo cual desarrolla el estudio de los efectos del sonido en diferentes sustancias. Una de sus aportaciones respecto de estudios anteriores es la incorporación

de fluidos con diferentes índices de viscosidad. Su trabajo también aporta mayor grado de precisión respecto de sus antecesores, debido a la utilización de un oscilador piezoeléctrico, dispositivo que permite generar frecuencias audibles de hasta 20 mil hertz.

En la actualidad, se realizan investigaciones que abarcan un espectro amplio de experimentaciones. Esto se debe, en gran medida, al empleo de nuevos instrumentos y tecnologías. Reid realiza una investigación en cimática mediante la creación del *cymascope*, un instrumento que posee una membrana de pvc que le permite realizar fotografías de alta definición de los patrones. También es importante mencionar a Lauterwaser, quien desarrolla estudios de los fenómenos periódicos sobre el agua. En su libro de 2002, *Water sound images*, compara las figuras formadas por los efectos del sonido en el agua con formaciones que ocurren en la naturaleza, como la morfogénesis de algunos organismos.

Los ejemplos mencionados nos permiten reconocer un proceso en el desarrollo de la cimática, en el cual se producen múltiples aproximaciones a estos fenómenos en diferentes momentos históricos. Este proceso es abordado desde diversas disciplinas con distintos intereses, como la física, la acústica, la matemática y la geometría. También se producen otras exploraciones ligadas a la música y, finalmente y a partir de Jenny, investigaciones de carácter fenomenológico, centradas en la demostración experimental de estos fenómenos.

Fenómenos periódicos triádicos: vibración, materia y movimiento

En cimática se estudian fenómenos periódicos vibratorios, es decir aquellos cambios que se repiten con cierto grado de regularidad, en particular los efectos de los movimientos vibratorios del sonido sobre la materia y los patrones resultantes de dichos efectos. Se trata de una manifestación audiovisual, en la que la relación entre el sonido y la materia permite experimentar visualmente la impresión auditiva, a través de patrones que pueden denominarse imágenes

sonoras. El objeto de estudio de esta disciplina, como lo expresa Jenny, “...no es formular hipótesis sobre antecedentes y causas finales, sino más bien (...) encontrar métodos para dar una expresión tangible a esta fenomenología” (2001: 20). Nos referimos a fenómenos periódicos triádicos, ya que en estas exploraciones interactúan fuerzas mecánicas, el movimiento y la materia. Por esta razón, las vibraciones se manifiestan tanto en figuras, como en dinámica y en cinética. Como resultado de esta interacción se producen tanto configuraciones estáticas -patrones generados mediante sustancia sólida granulada que permanece cuando deja de actuar la vibración-, como dinámicas -formaciones que desaparecen cuando deja de actuar la vibración sobre un fluido-. En ambas se manifiestan periodicidades, donde a veces predomina la forma y otras el movimiento. De esta manera, surgen imágenes que se organizan y revelan patrones con cierto grado de regularidad y también se producen configuraciones como un fluido plástico, con alto grado de complejidad, en las que se dificulta reconocer orden, a simple vista.



Figura 2. Patrones cimáticos con diferentes grados de regularidad en fluido no newtoniano (agua y fécula de maíz) resultado de la exploración en el Taller Morfología 2B. Álvaro Coria 2019.

La forma de los patrones depende de las características de diferentes componentes. Tanto la frecuencia del sonido como las características de la sustancia y del medio elástico a través del cual interactúan permiten generar un espectro amplio de patrones. El sonido -entendido como el movimiento vibratorio de los cuerpos

transmitido por un medio elástico- determina, según su frecuencia, el grado de complejidad de las imágenes. Por su parte, cada sustancia posee características y propiedades que determinan diferentes reacciones ante las vibraciones. De esta manera, una misma frecuencia que actúa sobre diferentes sustancias produce distintas configuraciones. Respecto de estas manifestaciones de la periodicidad, Jenny plantea que se pueden reconocer en la naturaleza, en diversos sistemas “...en los que todo existe en un estado de vibración, oscilación y pulsación continuos, ritmos (...) en la formación repetida de células y tejidos...” (2001: 21).

Los efectos de la periodicidad son estudiados de manera experimental mediante ensayos que consisten en hacer vibrar mediante la aplicación de frecuencias diferentes superficies, membranas o recipientes, en los cuales aparecen imágenes que revelan ciertos patrones. Esto se produce debido a que las sustancias alojadas sobre las mismas se desplazan desde los puntos o líneas de mayor vibración hacia los de vibración nula, efectos que se denominan fenómenos nodales. Tal como lo plantea Lega-Lladós, “los nodos no aparecen en forma de puntos inmóviles, sino en forma de líneas inmóviles a las que podremos llamar líneas nodales” (2015: 120). Las ondas mecánicas, como las del sonido, se propagan a través de un medio elástico sólido -generalmente una superficie, membrana, placa o recipiente- y producen alteraciones imperceptibles en su forma. Como consecuencia de esta interacción, surgen configuraciones dinámicas en fluidos y se producen imágenes estáticas en materiales sólidos granulares.

El principio por el que se producen estas configuraciones es debido a que se generan regiones de desplazamiento máximo y mínimo que afectan una cobertura delgada de partículas o líquidos. A partir de estos desplazamientos se originan diferentes figuras, que varían según las características del medio elástico -forma y material de la placa, membrana o recipiente-, la amplitud -volumen e intensidad- frecuencia -vibración medida en hertz- y el tipo de sustancia -sólido granular o fluido-. Por ejemplo, en

todas las vibraciones sobre una placa circular, las líneas nodales formadas por arena son diametrales o circulares, tanto regulares e irregulares dependiendo de la alteración del sonido.



Figura 3. Equipos utilizados para el desarrollo de la experimentación cimática, altavoz con placa metálica, sal y teléfono celular con generador de frecuencia. Álvaro Coria 2021.

De esta manera se establecen ciertos principios de relación y proporcionalidad entre la frecuencia-amplitud, sustancia y medio elástico, con los patrones resultantes. En consecuencia, a mayor frecuencia mayor será el grado de división de la sustancia y, por lo tanto, mayor complejidad en los patrones. También la modificación del medio elástico -placas o recipientes-, tanto su materialidad como su forma, condiciona y modifica los patrones resultantes.

Patrones de movimiento vibratorio

Los tipos se determinan en función de las configuraciones que adquieren las sustancias al ser desplazadas por los movimientos vibratorios. El medio elástico recibe las vibraciones desde su centro y esto produce que las placas o recipientes, al vibrar, desplacen la sustancia desde dicho centro hacia sus bordes.

Estos se organizan en torno al centro desde el que se transmite la vibración y se ordenan mediante ejes, que pueden orientarse en múltiples direcciones. Estos ejes distribuyen y acumulan las sustancias sobre los medios elásticos.

Se establecen cuatro tipos de patrones en relación a la distribución de la sustancia: central, axial, reticular regular y reticular

irregular. Además, pueden producirse diferentes combinaciones entre los tipos mencionados. En cada tipo varía el componente geométrico a partir del cual se distribuyen y organizan las sustancias. En la central, la sustancia se distribuye en torno al centro, el punto es el centro de la rotación. En la axial, la sustancia se distribuye en relación a un eje, la línea es el eje de reflexión. En la reticular, la sustancia se distribuye en una superficie, el plano es la superficie de la repetición.

Central: poseen un centro en torno al que se distribuye la sustancia sobre un plano o recipiente. El patrón puede organizarse en dos o más ejes orientados en diferentes direcciones, horizontal, vertical y oblicua. A partir de un punto fijo, centro de la rotación, se organizan las líneas o figuras que rotan alrededor del mismo, mediante diferentes ángulos. Las mismas pueden variar su dimensión y forma o mantenerse iguales. Su configuración se produce por rotación, en la que sus partes mantienen una relación de correspondencia exacta en posición, forma y tamaño en relación al centro.

Axial: poseen un único eje en torno al que se distribuye la sustancia sobre un plano o recipiente. El eje se orienta en una sola dirección, oblicua, horizontal o vertical. El patrón se organiza como una sucesión de líneas o figuras ubicadas a igual distancia respecto de dicho eje. Las mismas pueden variar su dimensión y forma o mantenerse iguales. En estos patrones se produce una correspondencia exacta en forma, tamaño y posición de las partes ubicadas a ambos lados del eje. Por lo tanto, es una configuración por reflexión que posee simetría bilateral.

Reticular regular: poseen una o varias figuras a partir de las que se distribuye la sustancia sobre un plano o recipiente. Se cubre un plano mediante la repetición de una figura o por medio del cruce de líneas que generan una retícula. Las mismas conservan su estructura formal, aunque pueden variar su dimensión. Su

configuración se produce a partir de la repetición sistemática de una única figura o la combinación de diferentes figuras.

Reticular irregular: poseen varias figuras a partir de las que se distribuye la sustancia sobre un plano o recipiente. Se cubre un plano mediante diferentes figuras o por medio del cruce de líneas. Las mismas varían su forma y dimensión. Su configuración se produce mediante múltiples figuras irregulares.

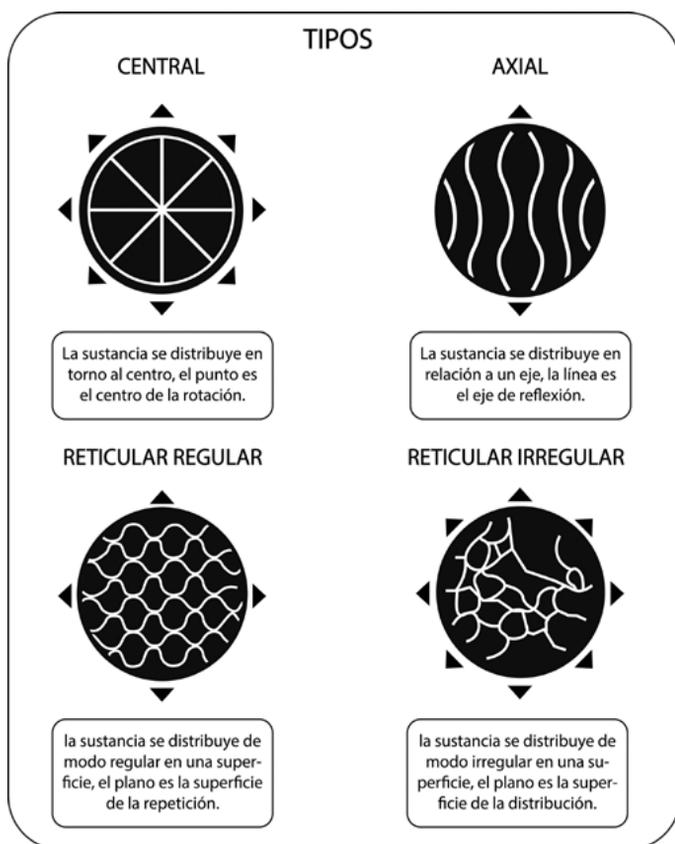


Figura 4. Esquema de tipos de patrones. Elaboración propia 2022.

Transferencia de principios de cimática a la experimentación proyectual

A continuación, se presenta una serie de ensayos proyectuales en los que se recurre a la cimática como insumo para el desarrollo de la morfogénesis arquitectónica. En este proceso se puede reconocer una secuencia que consta de tres instancias: experimentación cimática -en la que se generan los patrones de vibración y el registro fotográfico y fílmico del fenómeno cimático-; construcción de trazados reguladores -proceso de análisis a partir de las imágenes fotográficas del fenómeno cimático, para la detección de los patrones y la posterior construcción de los trazados- y la construcción tridimensional -se aplican lógicas de ordenamiento gráfico y modelico en tres dimensiones, a partir de leyes de crecimiento para la producción de formas protoarquitectónicas-.

Los experimentos consisten en transmitir las vibraciones del sonido a través de equipos que permiten controlar las frecuencias. Esto se realiza al hacer vibrar placas, membranas o recipientes sobre los que se encuentran diferentes sustancias, tanto sólidos granulares -arena, bicarbonato, sal-, como fluidos con diferentes grados de viscosidad, -líquidos como agua, alcohol, tinta o fluidos no newtonianos como fécula de maíz con agua-. Los fenómenos se registran mediante fotografías y videos. Luego las imágenes registradas se analizan y clasifican.



Figura 5. Registro fotográfico de patrones cimáticos obtenidos en la experimentación, de izquierda a derecha: sal sobre placa metálica, agua con tinta en recipiente, fluido no newtoniano sobre altavoz. Sergio Benejam 2019.

Para realizar los ensayos cimáticos se utilizan equipos compuestos de tres partes: altavoces -parlantes que permiten transmitir las vibraciones del sonido-; generadores de frecuencia -teléfonos celulares y una aplicación para controlar la frecuencia de vibración-, y placas metálicas o recipientes vinculados a los altavoces -permiten alojar las sustancias que se someten a la vibración-. Se requieren por otra parte cámaras fotográficas para registrar los patrones generados y se emplea una tabla de registro para sistematizar, ordenar y clasificar los resultados, que permite identificar: frecuencia, sustancia y medio elástico de cada imagen.

Los equipos de trabajo se conforman aproximadamente de 10 a 12 participantes, quienes en grupos de dos o tres personas se distribuyen las siguientes actividades: generación de los patrones -manipulación de los equipos, generación de frecuencias y control de la sustancia-; observación y registro de los fenómenos -mediante fotografías y videos-; análisis y clasificación de datos -sistematización de los ensayos mediante una tabla de registro de datos, según frecuencia, sustancia y el soporte que contiene la sustancia-. De esta manera concluye la instancia de experimentación cimática.



Figura 6. Equipos de trabajo en el desarrollo de la experimentación cimática. Álvaro Coria 2019.

En continuidad con la instancia anterior, cada estudiante selecciona una serie de imágenes cimáticas para luego proceder a su análisis con el fin de detectar patrones. Estos patrones permiten identificar lógicas de orden geométrico, habilitantes de la construcción de trazados reguladores.

Finalmente se realiza la construcción tridimensional a partir de los trazados reguladores. En esta instancia se proponen diferentes acciones de crecimiento que posibilitan el paso de lo bidimensional hacia modelos tridimensionales. Las exploraciones pueden desarrollarse directamente mediante la construcción de modelos materiales o, en algunos casos, a través de la representación gráfica tridimensional.

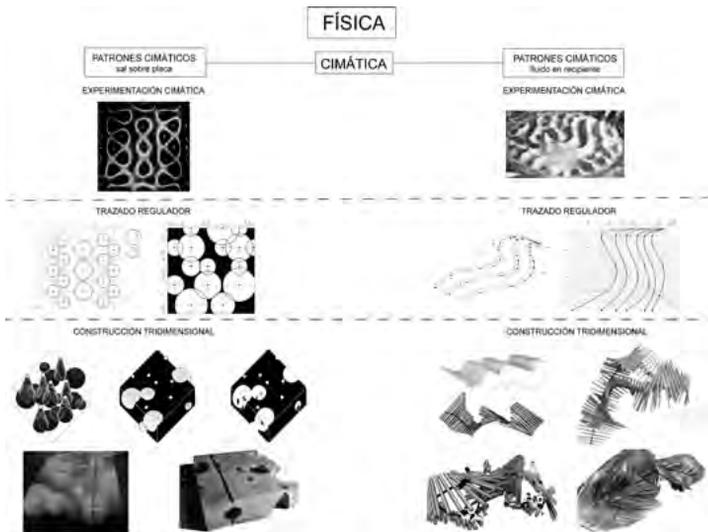


Figura 7. Esquema de disciplinas y secuencia del proceso proyectual. Elaboración propia 2021.

Sólido excavado¹

Experimentación cimática

El experimento consiste en aplicar una frecuencia de 1100 hertz mediante un teléfono móvil con una aplicación que permite

¹ Exploración proyectual de las estudiantes Lucía Ferreyra y Candelaria Garlot.

variar con precisión la frecuencia. A través de un parlante, que actúa como generador de frecuencia, se transmite el sonido hacia el contenedor de la sustancia (plancha metálica cuadrada de 20 centímetros de lado y 2 mm de espesor), sobre la que se esparce una delgada capa de sal. Las vibraciones provocan el desplazamiento de la sustancia en el contenedor y se configura un patrón cimático de tipo axial. A través del registro fotográfico se obtiene una imagen de dicho patrón, que se utiliza para la construcción del trazado regulador.

Construcción del trazado regulador

A partir de la imagen registrada se identifican puntos -distribuidos con cierto grado de regularidad- y un conjunto de figuras orgánicas que se sintetizan como circunferencias de dos tamaños diferentes. Ambos componentes geométricos se ordenan mediante una trama modular, cuyas líneas coinciden con la alineación vertical y horizontal de los puntos; los mismos determinan además el centro de las circunferencias. Se realiza una variación en la modulación de la trama, a partir de la cual se modifican los diámetros de los círculos mediante la aplicación de *scaling* y se produce la intersección de estos. Por último, se identifican las superficies continuas de los círculos, las cuales permiten diferenciar la figura del fondo -coincidente con el cuadrado de la plancha metálica-.

Construcción tridimensional

Se propone un prisma de base cuadrada, cuya altura responde a la cuarta parte de los lados de su base. En el interior del prisma se disponen conos con bases de dos tamaños diferentes y esferas de cuatro diámetros diferentes, cuyas dimensiones y ordenamiento responden al trazado regulador. Estos cuerpos geométricos se unen para generar un volumen continuo de conos y esferas. A continuación, los cuerpos se sustraen al prisma inicial. Tanto la

forma externa como el vacío interno resultantes son producto de la acción sustractiva.

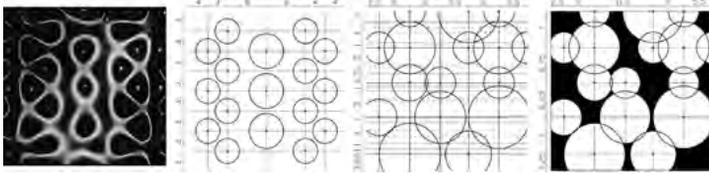


Figura 8. Secuencia de construcción del trazado regulador, 2019. Redibujado por Sergio Benejam 2021.

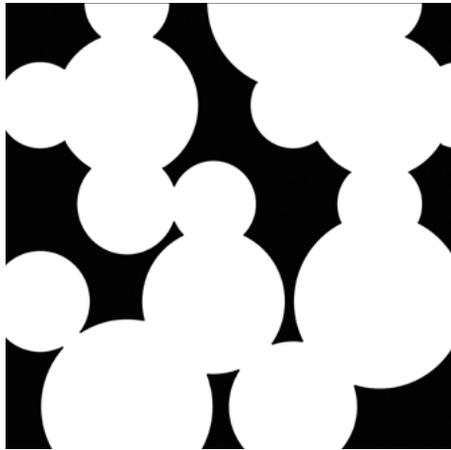


Figura 9. Resultado del trazado regulador, relación de superficies de figura y fondo 2019. Redibujado por Florencia Recio 2021.

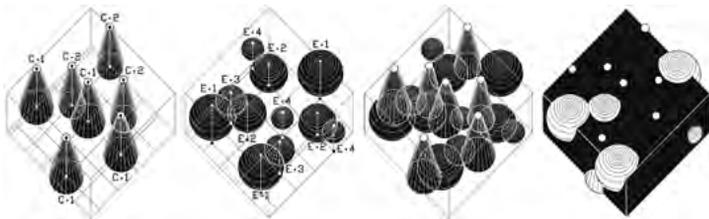


Figura 10. Gráficos de la secuencia de la construcción tridimensional 2019. Redibujado por Florencia Recio 2021.

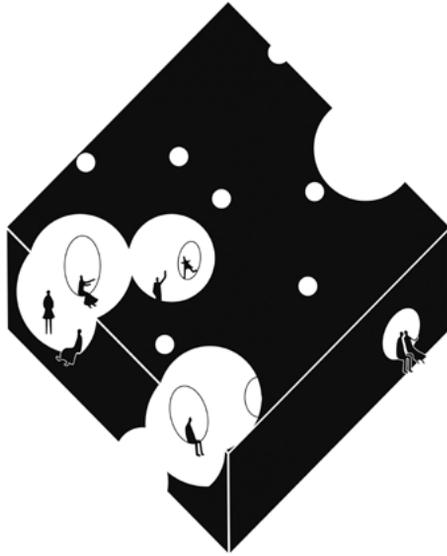


Figura 11. Forma externa del volumen excavado producto de la sustracción 2019.
Redibujado por Florencia Recio 2021.

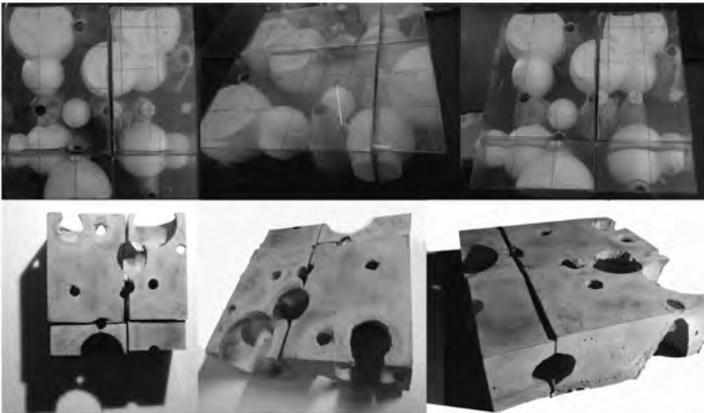


Figura 12. Maquetas físicas del volumen de cuerpos geométricos y el resultado de la masa sustraída, 2019.



Figura 13. Secuencia de cortes relación lleno vacío e incorporación de la materialidad, 2019. Editado por Florencia Recio 2021.



Figura 14. Fotomontajes de la prefiguración espacial, forma interna 2019. Editado por Florencia Recio 2021.

Tesela tridimensional²

Experimentación cimática

Este caso replica el experimento expuesto en el ejemplo anterior. A partir del registro de la experiencia se obtiene una imagen del fenómeno cimático, resultante de la utilización de una sustancia granular (sal).

Trazado regulador

El proceso de construcción se realiza a partir del reconocimiento de los patrones. Primero se identifican figuras triangulares que se

² Exploración proyectual del estudiante Leandro Prati.

repite con cierta regularidad. Estas son ordenadas mediante una trama modulada con intervalos alternados -en réplica del patrón de la imagen-, que permiten definir con precisión los vértices de cada triángulo, ubicados en el cruce de las líneas verticales y horizontales. Se proponen circunferencias para definir la curvatura de los vértices de cada triángulo. Por último, se plantean variaciones de los diámetros de las circunferencias que ajustan al patrón y definen tres figuras diferentes, organizadas en una trama.

Construcción tridimensional

El proceso de construcción tridimensional se realiza a partir de la selección de dos de las figuras resultantes del trazado regulador. Las mismas se vinculan, mediante la unión de sus aristas, y conforman un tetraedro. La propuesta de crecimiento se realiza a partir de una exploración con modelos materiales, en la cual los tetraedros -construidos con alambre- se repiten y combinan. Se define por último una envolvente topológica a partir de una tesela mediante la repetición de las figuras resultantes del trazado regulador. La misma adquiere tridimensionalidad mediante pliegues que se adaptan a la configuración de la estructura tectónica.

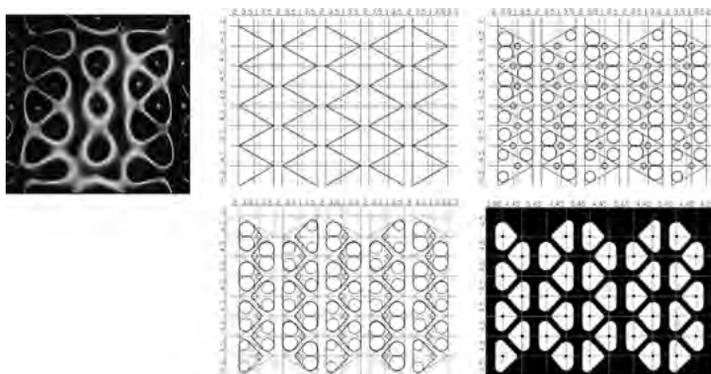


Figura 15. Esquemas de la secuencia de construcción del trazado geométrico a partir de la imagen cimática 2021. Editado por Florencia Recio.

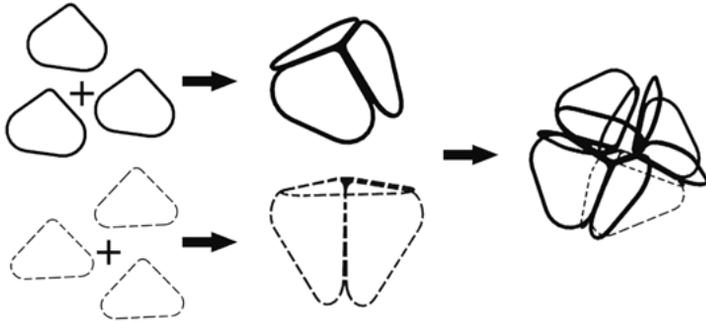


Figura 16. Esquemas de la secuencia de configuración de las piezas tridimensionales 2021. Editado por Florencia Recio.

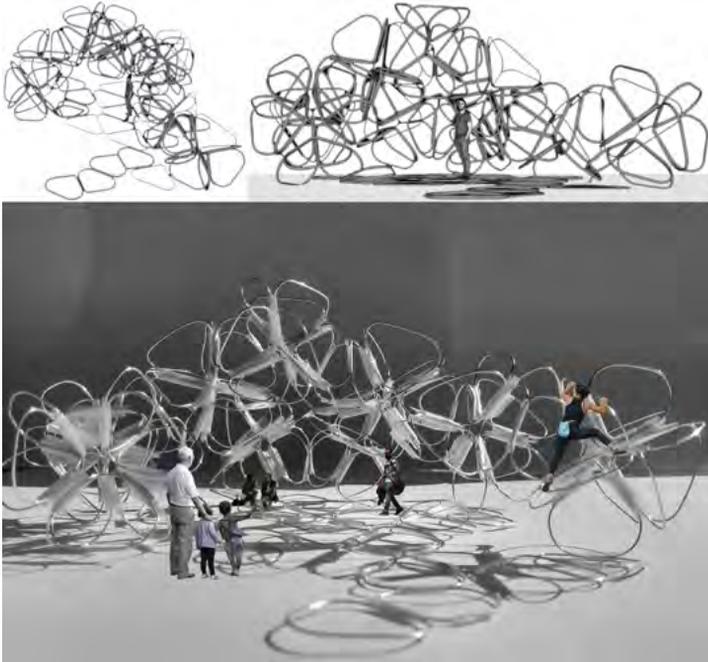


Figura 17. Construcción tridimensional, estructura tectónica 2021. Editado por Florencia Recio.

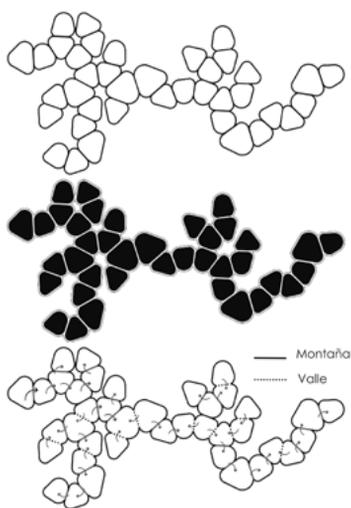


Figura 18. Envoltura topológica desplegada, esquema de indicación de la dirección de los pliegues 2021. Editado por Florencia Recio.

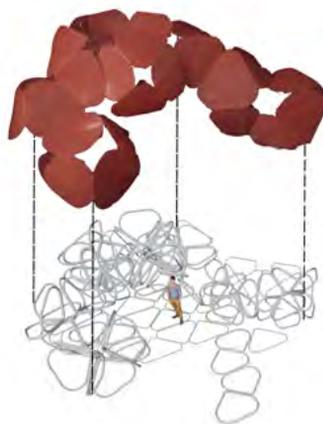


Figura 19. Recubrimiento de la estructura tectónica mediante la envoltura topológica 2021. Editado por Florencia Recio.

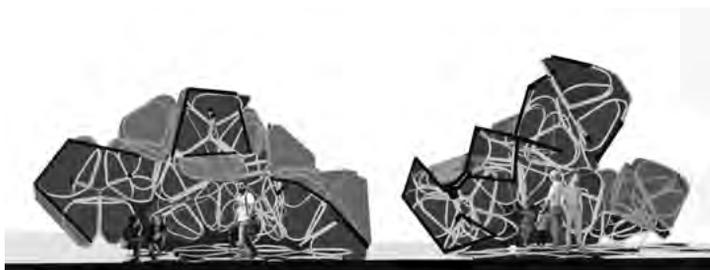


Figura 20. Relación de la estructura tectónica y la envoltura topológica 2021. Editado por Florencia Recio.



Figura 21. Fotomontajes de la prefiguración, forma externa y forma interna, espacial interior, 2020.

Figuras Extruidas³

Experimentación cimática

En este caso se realizan dos experimentaciones. El primer experimento consiste en aplicar una frecuencia de 100 hertz mediante un teléfono móvil con una aplicación que permite variar con precisión la frecuencia. A través de un parlante que actúa como generador de frecuencia, se transmite el sonido hacia el contenedor de la sustancia -recipiente cilíndrico metálico de 15 centímetros de diámetro- que contiene agua, la cual reacciona a las vibraciones y genera un patrón cimático del tipo reticular regular. En el segundo experimento se aplica una frecuencia de 900 hertz en el contenedor de la sustancia -plancha metálica cuadrada de 20 centímetros de lado y 2 mm de espesor-, sobre el que se esparce una delgada capa de sal. Las vibraciones provocan el desplazamiento de la sustancia en relación con un eje, por lo que se configura un patrón cimático axial. A través del registro fotográfico se obtienen

3 Exploración proyectual de los estudiantes Ignacio Sanmartino y Victoria Gaseuy.

diferentes patrones en ambas imágenes, que se utilizan para la construcción del trazado regulador.

Trazado regulador

Para la construcción del primer trazado, en la imagen (Figura 22) se reconoce una trama regular y se identifican cuadrados que se corresponden con diferentes módulos, en relaciones proporcionales de 1, 2 y 4 respectivamente. Se configura el trazado a partir del *scaling* mediante la modulación de la trama ortogonal decreciente, desde el centro hacia los extremos. En la construcción del segundo trazado, en la imagen (Figura 23) se identifican líneas onduladas organizadas a través de ejes de simetría horizontal y vertical. Las mismas se regularizan por medio de circunferencias de diferentes diámetros, cuyos centros se ordenan mediante una trama. Se determinan superficies comprendidas entre las líneas onduladas a partir de las líneas horizontales de la trama.

Construcción tridimensional

Se realiza un proceso de construcción tridimensional en dos etapas, mediante la combinación de los dos trazados. En la primera etapa y a partir de la trama del primer trazado, se realiza la extrusión de los diferentes módulos cuadrados que da por resultado volúmenes sólidos de diferentes alturas. En la segunda etapa se realiza la extrusión del resto de los módulos de la trama, lo cual da por resultado tubos de sección cuadrada con variación de alturas. Luego, los tubos se transforman en pirámides truncadas. Por último, se aplican curvas en las pirámides truncadas mediante la utilización del segundo trazado y se plantean rotaciones y cambio de orientación en algunos volúmenes.

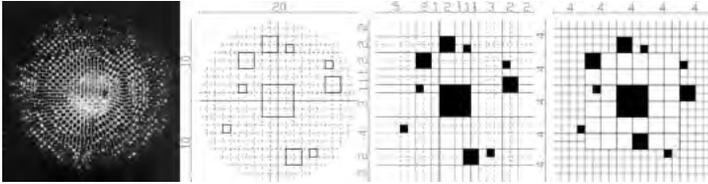


Figura 22. Secuencia de construcción del trazado regulador, 2019. Redibujado por Sergio Benejam y Florencia Recio 2021.

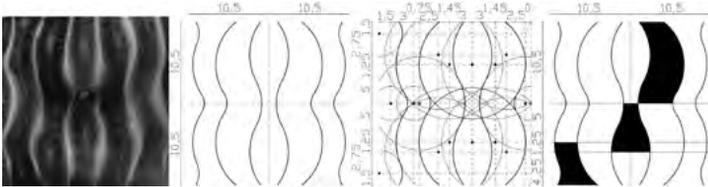


Figura 23. Secuencia de construcción del trazado regulador, 2019. Redibujado por Sergio Benejam y Florencia Recio 2021.

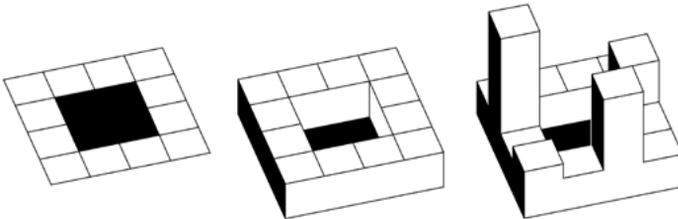


Figura 24. Esquemas del inicio de la secuencia del proceso de construcción tridimensional, 2019. Redibujado por Florencia Recio 2021.

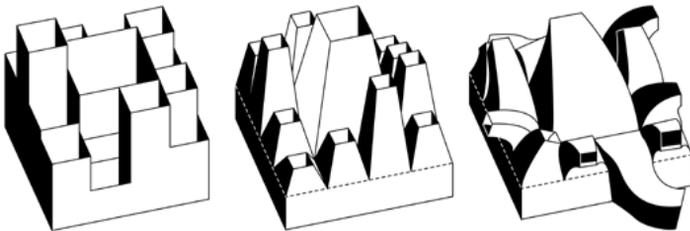


Figura 25. Esquemas de la secuencia de la propuesta tridimensional, 2019. Redibujado por Florencia Recio 2021.



Figura 26. Secuencia de cortes, 2019.

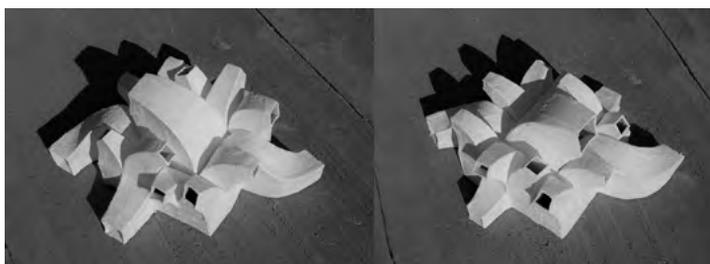


Figura 27. Fotografías de los modelos materiales, 2019. Lucas Peries 2019.



Figura 28. Fotomontajes de la prefiguración protoarquitectónica, forma externa, propuesta de inserción en el contexto 2019.



Figura 29. Corte maqueta, definición de la envolvente, 2019.

Superficie topológica⁴

Experimentación cimática

El experimento consiste en aplicar una frecuencia de 1033 hertz mediante un teléfono móvil con aplicación que permite variar con precisión la frecuencia. A través de un parlante que actúa como generador de frecuencia, se transmite el sonido hacia el contenedor de la sustancia (plancha metálica rectangular de 20 x 30 centímetros de lado y 2 mm de espesor) sobre la que se esparce una delgada capa de sal. Las vibraciones provocan el desplazamiento de la sustancia, que se distribuye alrededor de un centro y se configura un patrón cimático central. A través del registro fotográfico se obtiene una imagen de dicho patrón, que se utiliza para la construcción del trazado regulador.

⁴ Exploración proyectual de los estudiantes Marina Gjurkan y Benjamín Godoy.

Trazado regulador

A partir de la imagen registrada se identifican figuras elípticas de diferentes dimensiones, las que se ordenan según sus dimensiones. Se proponen ejes verticales, horizontales y diagonales que permiten regularizar la posición de estas figuras a partir de sus centros. Posteriormente, para la construcción del trazado se define una figura compuesta por dos arcos de circunferencia y una elipse central de orientación vertical. La misma se repite y ordena sobre una trama para determinar el trazado. Se establecen variaciones de escala mediante relaciones proporcionales.

Construcción tridimensional

Se realiza a partir de la repetición de unidades que definen el patrón. Las mismas se materializan con alambre recubierto con nylon y se vinculan para conformar una superficie igual al trazado regulador. Sobre esta superficie se aplican acciones de curvado que permiten explorar diferentes configuraciones tridimensionales para el desarrollo de la propuesta.

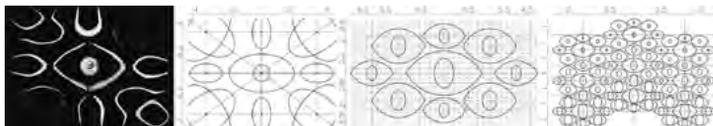


Figura 30. Secuencia de construcción del trazado regulador, 2019. Redibujado por Florencia Recio 2021.

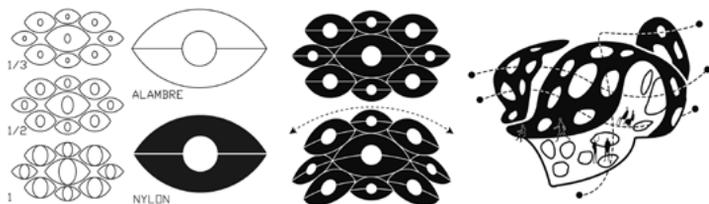


Figura 31. Esquemas de la secuencia de propuesta tridimensional, configuración a partir del curvado de la superficie continua, 2019. Redibujado por Florencia Recio 2021.

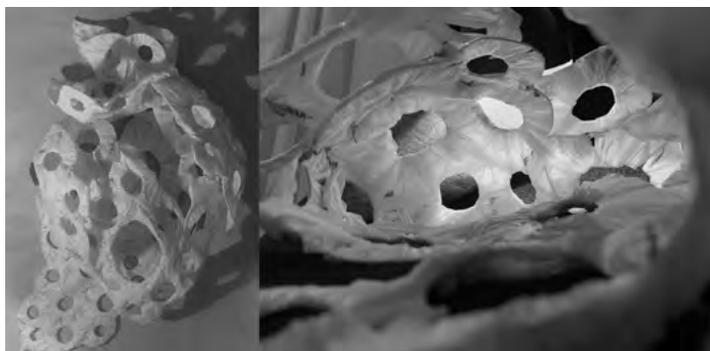


Figura 32. Fotografías del modelo material, 2019.

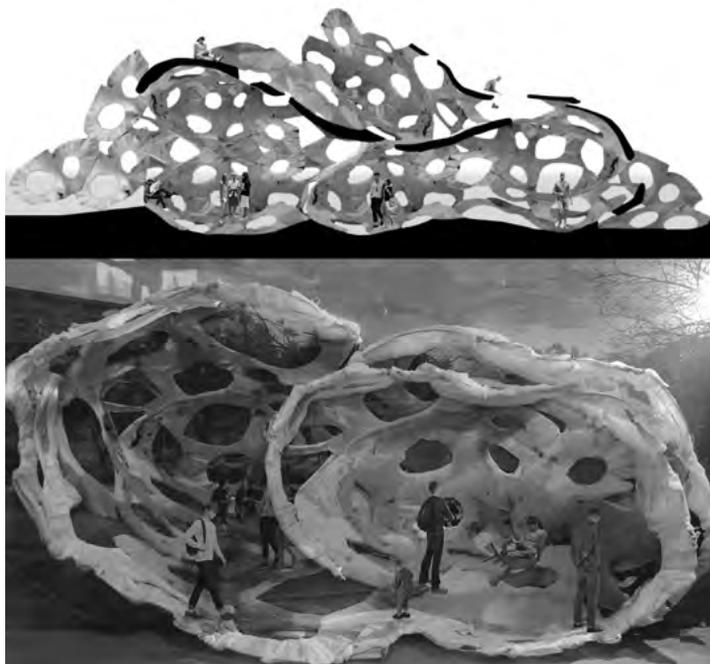


Figura 33. Corte maqueta, definición de la envolvente 2019. Editado por Florencia Recio 2021.



Figura 34. Prefiguración espacial exterior e interior, inserción en el contexto 2019.
Editado por Florencia Recio 2021.

Superficie reglada⁵

Experimentación cimática

Para la realización del experimento cimático se aplica una frecuencia de 150 hertz mediante un teléfono móvil con una aplicación que permite variar con precisión la frecuencia. A través de un parlante que actúa como generador de frecuencia, se transmite el sonido hacia el contenedor de la sustancia (recipiente cilíndrico de metal de 15 centímetros de diámetro), dentro del cual se aloja un fluido no newtoniano -agua con fécula de maíz-. Las vibraciones provocan el movimiento de dicho fluido y se configura un patrón cimático reticular irregular. A través del registro fotográfico se obtiene una imagen de dicho patrón, que se utiliza para la construcción del trazado regulador.

Trazado regulador

En la imagen se identifica una sucesión de puntos, en correspondencia con las crestas de las líneas onduladas que se generan en el fluido. De esta manera se define una estructura geométrica de fluxión. Esta se ordena a partir de una serie de circunferencias que permite definir con precisión la ondulación de las líneas. Finalmente, el trazado se completa mediante la repetición de líneas de la estructura geométrica, en una sucesión ordenada a través de una trama subyacente.

Construcción tridimensional

Se realiza a partir de la rotación y repetición del trazado en el eje vertical. De esta manera se configura una superficie curva continua. Luego se incorpora una sucesión de elementos filares, que permite organizar una serie de varillas para la

⁵ Exploración proyectual de la estudiante Rocío Reynoso.

construcción del modelo material. En este caso, el proceso se desarrolla a partir de exploraciones en maqueta, que posibilitan obtener diversas configuraciones en continuidad con las curvas definidas en el trazado.

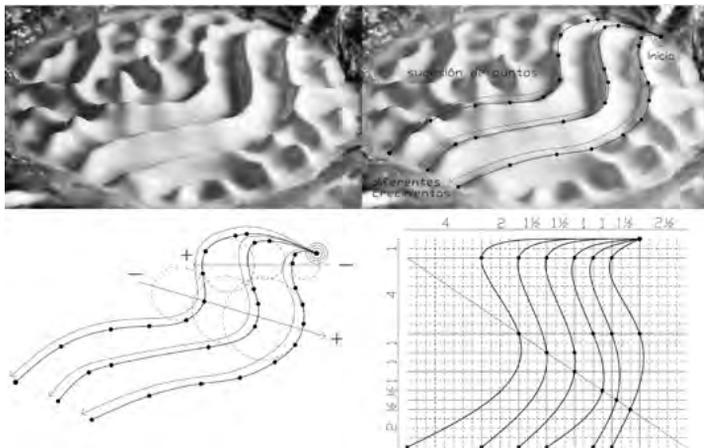


Figura 35. Secuencia de construcción del trazado regulador, 2020. Redibujado por Florencia Recio 2021.

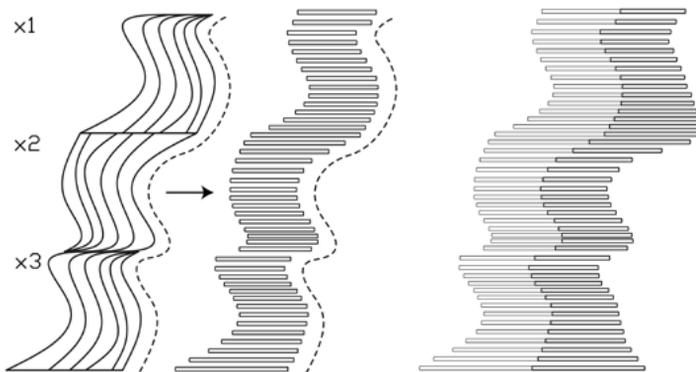


Figura 36. Secuencia de construcción tridimensional, 2020. Redibujado por Florencia Recio 2021.

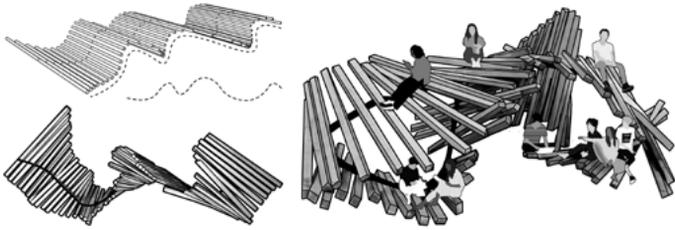


Figura 37. Secuencia de la propuesta tridimensional de la estructura tectónica, 2020. Redibujado por Florencia Recio 2021.

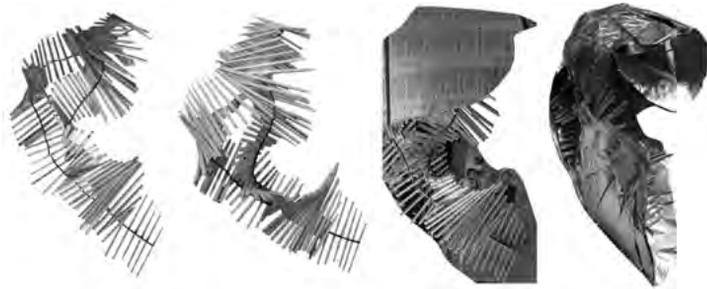


Figura 38. Secuencia de la definición de la envolvente topológica, 2020. Editado por Florencia Recio 2021.



Figura 39. Resultado de la propuesta de envolvente, definición de la forma externa, 2020. Editado por Florencia Recio 2021.



Figura 40. Fotomontajes de la prefiguración espacial exterior e interior, con inserción en el contexto, 2020. Editado por Florencia Recio 2021.

CAPÍTULO 6

TEORÍA DE JUEGOS

Lucas Cuevas y Jimena Berezovsky

Principios generales

La Teoría de Juegos es la rama de la matemática aplicada que aborda la toma de decisiones en la resolución de conflictos a partir del uso de modelos matemáticos. La matemática, como disciplina, aporta nociones y conceptos que pueden ser utilizados en diferentes ámbitos. Desde la Antigüedad es posible encontrar aplicaciones de la matemática en la resolución de cuestiones cotidianas. Con la evolución y los avances del conocimiento humano, las mismas se multiplican y aumentan en complejidad.

La formulación de la teoría se basa en juegos abstractos (estructuras formalizadas) y el foco de interés reside en su aplicación a todas aquellas situaciones cuyas características hacen factible que su análisis y propuesta de solución pueda realizarse a través de la modelización de la situación, como un juego abstracto. Al respecto, Dulofeu plantea:

Una situación (confrontación), inicialmente entre dos personas (o grupos), en la que hay reglas que determinan jugadas posibles y en las cuales, mediante la toma de decisiones por parte de quienes juegan (...), se obtiene un resultado que da unas ganancias a uno u otro jugador. (2012: 92)

En tal sentido, se plantea que el juego es un tipo de modelo matemático que permite comprender la toma de decisiones y los modos de interacción entre quienes las efectúan.

La Teoría de Juegos se origina como una herramienta de análisis en las ciencias económicas y, si bien existen antecedentes -estudios llevados a cabo por Ernst Zermelo o Émile Borel a inicios del siglo XX-, el desarrollo de la teoría se debe, fundamentalmente, al trabajo de Von Neumann y Morgenstern (1944) como análisis y estudio de estrategias militares durante la Guerra Fría. Su trabajo expone un método para hallar soluciones óptimas en juegos de suma cero con dos participantes, en los que las recompensas de quien gana se equilibran con las pérdidas del otro participante. Los estudios se centran en juegos de tipo cooperativo, con el análisis de estrategias óptimas en situaciones en las que cada participante puede establecer acuerdos sobre las tácticas más adecuadas. A mediados del siglo XX se produce un notable desarrollo con las primeras aportaciones de Nash sobre el concepto de estrategia óptima para juegos con múltiples participantes -planteamiento conocido como Equilibrio de Nash-, el cual propone que cada integrante ejecute su mejor estrategia y conozca las demás. También en esta época se aplica en otros campos como la filosofía y las ciencias políticas, mientras que en los años '70 se extiende a la biología.

Esta teoría constituye una herramienta para la comprensión y el entendimiento de la conducta humana frente a la toma de decisiones en situaciones particulares, al simular comportamientos previstos y estrategias óptimas de cada participante. Las interacciones estratégicas forman el punto crucial en la Teoría de Juegos, ya que algunas veces son usadas intuitivamente por quienes participan en los conflictos, pero en otras ocasiones, según la experiencia, se hacen de modo consciente e influyen la toma de decisiones.

En las numerosas y variadas aplicaciones de la teoría es posible reconocer dos tipos de situaciones factibles de ser modelizadas como juegos:

- La primera opción responde a los juegos no cooperativos, aquellos en los que existe un conjunto de personas que juegan con sus estrategias y posibles recompensas. La denominación no cooperativa deriva de la manera en la que quienes

juegan llevan a cabo las acciones. Cada participante toma sus decisiones independientemente, aunque conoce a sus oponentes y las posibles estrategias que tienen a disposición.

- La segunda alternativa está basada en el estudio de los juegos cooperativos o coalicionares, los cuales difieren de los anteriores en el hecho de que, si existe la posibilidad de obtener algún beneficio de la cooperación, quienes juegan pueden llegar a accionar de ese modo.

Las dos formas planteadas contribuyen a que los juegos incrementen los procesos de reflexión y pensamiento (Morcillo e Illescas, 2012), al poner en evidencia los modos en que las estrategias se adecúan según el tipo de juego o situación enfrentada. La utilización de la teoría como herramienta de análisis permite identificar los componentes que están presentes en cualquier situación que implique toma de decisiones. Estos son:

- Participantes: personas que van a tomar las decisiones en busca de obtener los mejores resultados posibles.
- Reglas: normas que regulan el accionar de cada juego.
- Acciones: posibles alternativas que cada participante puede llevar a cabo.
- Recompensas: representan la utilidad o beneficio que recibe cada participante al finalizar el juego.

Son estos componentes los que facilitan el abordaje de cualquier situación como un juego, ordenan el análisis y permiten preestablecer los posibles desarrollos y evolución de un suceso. Otro concepto fundamental de la teoría es la estrategia, entendida como la planificación que coordina acciones y recursos para conseguir una finalidad, teniendo en cuenta las reglas, estructuras e individualidades que cada situación posee. Si bien no constituye un elemento particular, la estrategia se convierte en el modo en que cada participante del juego diseña las posibles

acciones o conjunto de acciones que le permitirá ganar la partida y obtener las recompensas.

El azar, si bien no se contempla directamente en la Teoría de Juegos, puede llegar a convertirse en un elemento relevante para su desarrollo, al modificar situaciones existentes, incorporar la imprevisibilidad e influir en la postura de cada individuo ante el riesgo. Así surge la idea de estrategia ganadora, un conjunto de condiciones y situaciones que permiten decidir o reorientar la estrategia y sus acciones para obtener la victoria, teniendo en cuenta todos aquellos factores que pueden influir en los resultados.

Juegos y deportes

Es posible utilizar conceptos de esta teoría para el estudio de situaciones que implican toma de decisiones en el análisis de deportes y juegos. Cada participante sigue un conjunto de estrategias y realiza las acciones que las reglas y las estructuras de cada situación le permiten, de modo de vencer a su oponente y obtener así las recompensas que la partida propone. En referencia con la resolución de estas acciones, Dulofeu expresa:

A pesar de la aparente diversidad de este tipo de juegos y de sus soluciones, las técnicas y los conceptos matemáticos utilizados son reducidos y corresponden principalmente al ámbito de la matemática (los sistemas de numeración y la divisibilidad) y de la geometría (situaciones de equilibrio, principalmente la simetría). (2012: 42)

En toda actividad lúdica como en cualquier práctica deportiva, las reglas y acciones posibles que permiten su desarrollo pueden ser traducidas a formas geométricas que se expresan en patrones. En relación con los juegos y su estructura, Lundy plantea:

Algunas de nuestras primeras experiencias con números fueron a través de juegos, canciones infantiles, cuentos y mitos

culturales (...) Los juegos al igual que los mitos y los cuentos, pueden contener información. Muchos juegos dependen del número para su estructura y sus reglas. (2010: 52)

A mayor complejidad de la actividad, mayor complejidad de los patrones que van a generarse en el desarrollo de las partidas. Estas formas geométricas se expresan tanto en los tableros o campos deportivos, donde se desarrollan los mismos como en las estrategias, acciones y jugadas de ese desarrollo.

Patrones geométricos

Es posible remontarse al desarrollo de la Teoría de Grafos para encontrar antecedentes de la traducción de la probable resolución de un conflicto y sus escenarios posibles en un gráfico. Euler (1759) resuelve un problema matemático llamado *Problema de los puentes de Königsberg* mediante la abstracción gráfica del mismo y da origen así a esa teoría. Un grafo es una representación gráfica que sintetiza una relación entre los elementos de un conjunto y está formado por puntos (elementos del conjunto) y líneas que unen los puntos (elementos relacionados). Los grafos se utilizan, principalmente, para plantear y resolver problemas de optimización y hacen alusión a una geometría en la que interesan particularmente las propiedades estructurales de los objetos y no sus dimensiones.

Al combinar la Teoría de Juegos con la de grafos, se plantea la traducción de las acciones y estrategias de deportes y juegos en representaciones gráficas, presentadas en la figura 1. Estas traducciones facilitan el entendimiento de las reglas y sus posibles desarrollos, como así también el planteamiento estratégico, mediante el estudio de los diferentes escenarios que pueden llegar a acontecer en el avance de las partidas.



Figura 1. Análisis geométrico de jugadas de ajedrez. Lucas Cuevas, 2021.

Los diferentes tipos de patrones se establecen a partir del análisis de los movimientos de personas y objetos en el desarrollo de partidas de juegos y deportes. Las acciones se traducen en trayectorias y, según las posibilidades de cada partida, aparecen las individualidades de las mismas.

Los patrones se representan como trayectorias con inicio y final, con sentido y una o varias direcciones, que generan las diferencias entre los tipos. El sentido expresa hacia dónde se dirige el movimiento, mientras que la dirección representa el trayecto (la línea de movimiento). Se plantean así, tres tipos de patrones:

- Trayecto unidireccional: definido por el movimiento que realiza un objeto o sujeto en una jugada, de modo continuo o intermitente, mientras avanza en un sentido y con una dirección.
- Trayecto bidireccional: definido por el movimiento que realiza un objeto o sujeto en una jugada, de modo continuo o intermitente, mientras avanza en un sentido y con dos direcciones.
- Trayecto multidireccional: definido por el movimiento que realiza un objeto o sujeto de modo continuo o intermitente, mientras avanza en un sentido y con múltiples direcciones.



Figura 2. Patrones lúdicos y deportivos. Lucas Peries, 2022.

Por otro lado, es posible establecer otro tipo de traducciones gráficas. Las estrategias, entendidas como planteamientos previos, particularmente en los deportes colectivos, pueden ser representadas a través de redes y teselados. Las redes se construyen a partir de la representación de quien juega como un nodo y los posibles pases o circulaciones como líneas o aristas. La construcción de teselados constituye otra forma de entender la estrategia. En este caso, cada tesela representa la superficie a cubrir por cada persona que juega. Si el foco de análisis se establece en las acciones posibles, es factible traducir las mismas a trayectorias o conjuntos de trayectorias. Así, al seguir el movimiento de la persona que juega o la pieza del juego, puede generarse esta estructura geométrica según las leyes y alternativas que el propio juego plantea. Estas alternativas de traducción se grafican en la Figura 3.

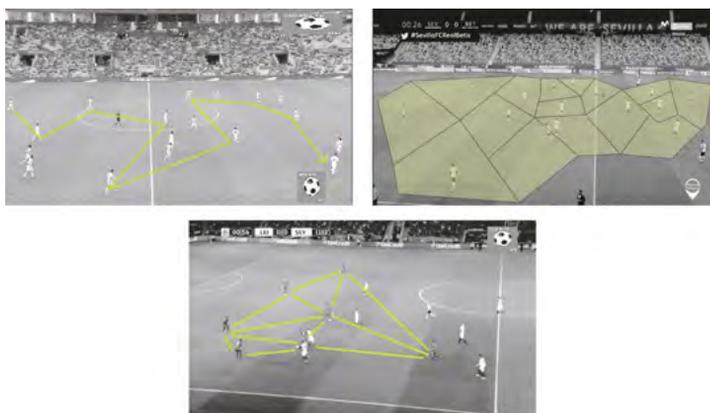


Figura 3. Traducción geométrica de jugadas y estrategias de fútbol. Lucas Cuevas, 2021.

La traducción a esquemas gráficos incorpora también otro componente: la apropiación del espacio por parte de quienes juegan, en el campo o tablero de juego, según las reglas y las estructuras planteadas. Asimismo, estas estructuras geométricas se convierten también en herramientas de análisis posterior, lo que permite modificar las futuras estrategias y acciones ideadas para próximas partidas. De este modo, según el establecimiento del foco de análisis en alguno de los elementos que componen el juego (participantes o acciones) o la estrategia, es posible realizar traducciones del desarrollo de las partidas en esquemas gráficos, como se ilustra en la Figura 4.

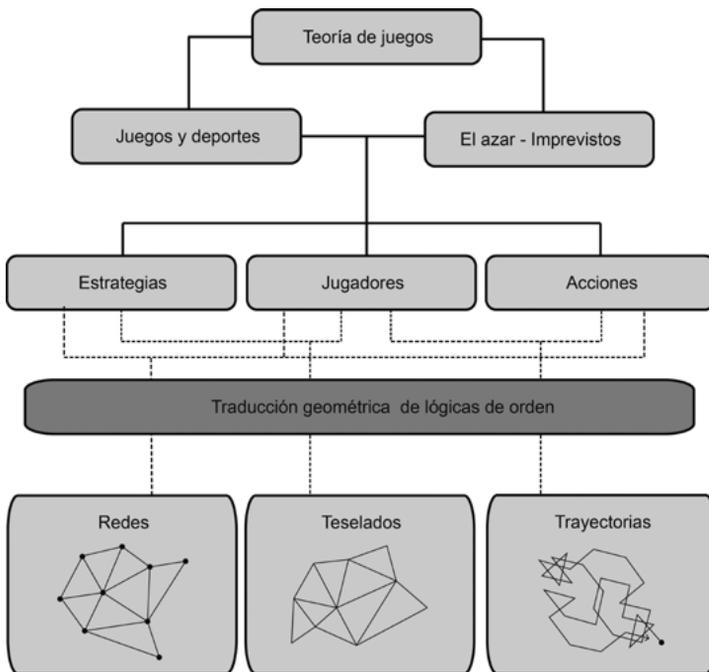


Figura 4. Síntesis gráfica de patrones resultantes. Lucas Cuevas, 2021.

Transferencia de conceptos de la teoría de juegos a la experimentación proyectual

El inicio del proceso de experimentación proyectual se realiza mediante dos alternativas posibles: la realización de un juego -que se genera para el desarrollo de esta actividad- y el análisis de imágenes estáticas y dinámicas derivadas del registro fotográfico o fílmico de juegos y deportes. En ambos casos, se procede a la traducción de las acciones y estrategias desde la construcción de esquemas gráficos. Los mismos representan patrones que configuran cada jugada o expresan situaciones particulares del desarrollo de las partidas. Mediante estas técnicas, la realización de ensayos proyectuales permite transferir los principios y conceptos derivados de la Teoría de Juegos en la generación de formas protoarquitectónicas.

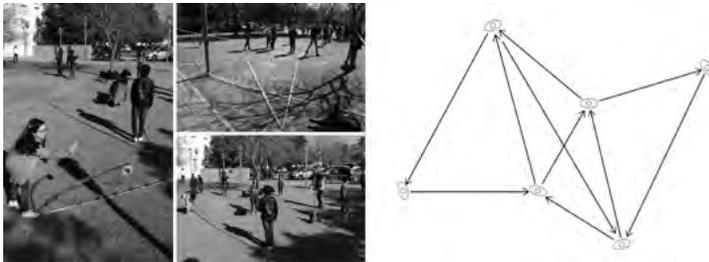


Figura 5. Desarrollo de juego y esquema de análisis. Lucas Cuevas, 2020.

En primera instancia, la traducción a esquemas gráficos se realiza de manera simultánea a las jugadas, al emplear herramientas que permitan construir los esquemas en tiempo real, como se demuestra en la figura 4. Otro aspecto a destacar es la participación de quienes juegan como las propias piezas de la partida. Esto permite incorporar la escala humana y la apropiación del espacio como otro elemento a analizar. La actividad se convierte

así en una acción interactiva y lúdica, con vinculación directa a la noción de jugar. Por su parte, el análisis de partidas de deportes y juegos, si bien carece del carácter interactivo anterior, permite una aproximación con una mirada más general de las acciones desarrolladas. La mirada externa y en otra escala permite apreciar la totalidad de manera más evidente, como se ejemplifica en las figuras 6 y 7.

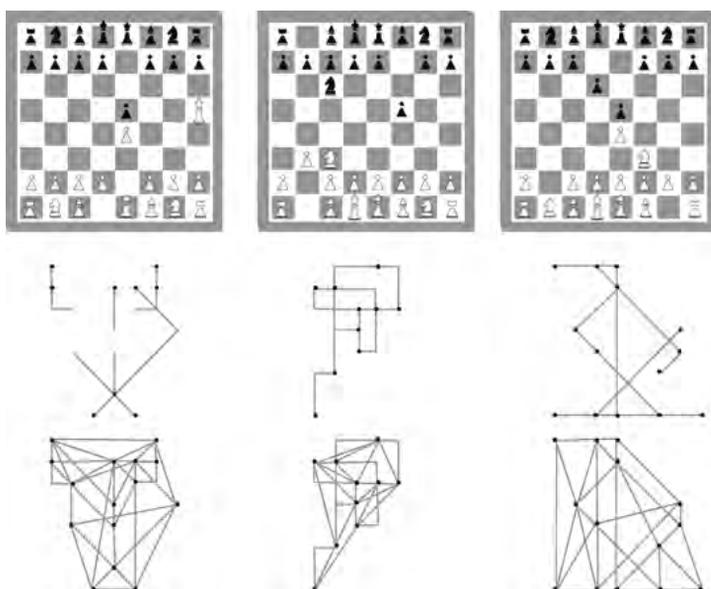


Figura 6. Esquemas de análisis de jugadas de ajedrez. Emanuel Ruiz, 2020. Editado por Jimena Berezovsky, 2021.

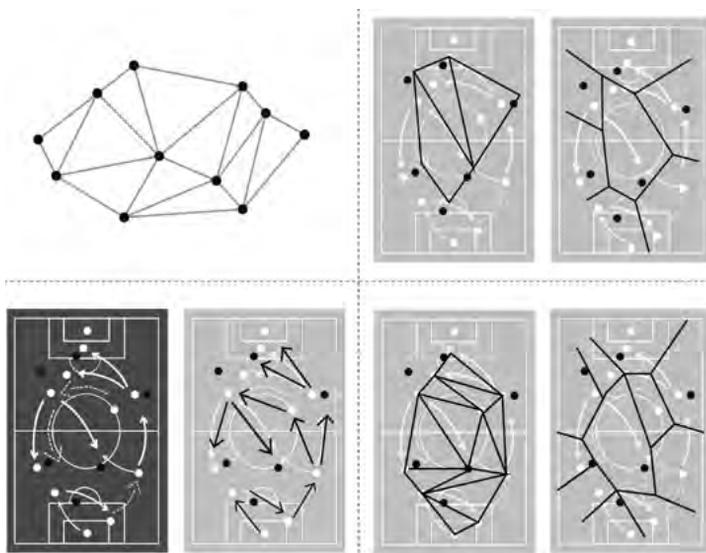


Figura 7. Esquemas de análisis de jugada de fútbol. Mateo Spinelli, 2020. Editado por Jimena Berezovsky, 2021.

El proceso continúa con la construcción de un trazado regulador que permite establecer una organización espacial. Este se inicia con la geometrización de los patrones que surgen del análisis de imágenes de juegos y deportes, con la incorporación de lógicas de ordenamiento que derivan de las partidas. La actividad continúa con la aplicación de una ley o lógica de crecimiento, que regula un elenco de posibles acciones: repetición, rotación, desplazamiento, progresión, serie, cambio de escala, fractales y sus combinaciones. De ese modo, se desarrolla la construcción de los trazados reguladores como una nueva totalidad y no sólo como una sumatoria de partes.

Los trazados resultantes incorporan lógicas de ordenamiento que derivan de la Teoría del Juego, pero se transforman en un nuevo elemento que va más allá de la interpretación de un accionar determinado.

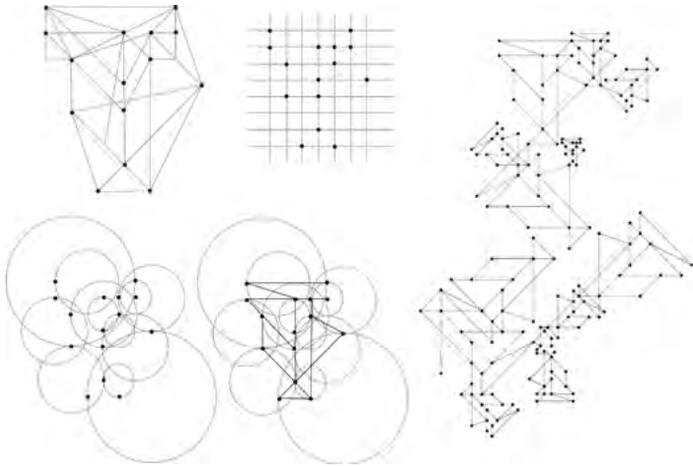


Figura 8. Construcción de trazado regulador. Facundo Santillán, 2020. Editado por Jimena Berezovsky, 2021.

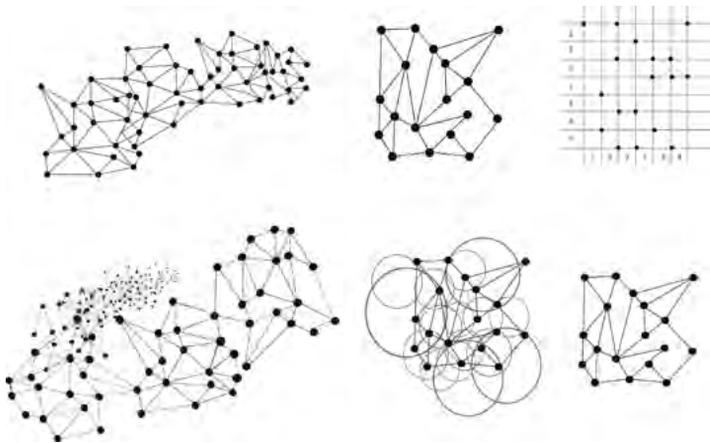


Figura 9. Construcción de trazado regulador. Claudia Rojas, 2020. Editado por Jimena Berezovsky, 2021.

Los trazados reguladores generados se utilizan como herramientas operativas que orientan la exploración material, a partir de la incorporación del concepto y principio de orden. De este modo,

se produce un proceso de adición o sumatoria de piezas que, mediante la incorporación de una ley de crecimiento tridimensional y repetición o densificación de elementos materiales, genera modelos espaciales, como se muestra en la figura 10.

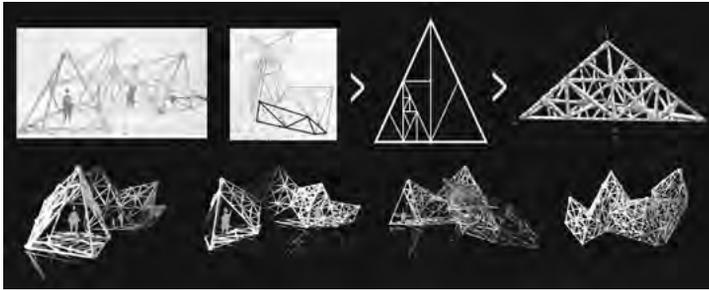


Figura 10. Construcción de modelo tridimensional. Ramiro Capellino, 2020.

Ajedrez: apertura¹

Experimentación

La experimentación comienza con el análisis de los movimientos de una jugada de ajedrez en la fase inicial de una partida, denominada apertura. Se propone su traducción en una serie de patrones alternativos como: conjunto de trayectorias, red distribuida y teselado. Las posiciones de las piezas y los movimientos de esta jugada particular se traducen en esquemas de patrones. El resultado en este caso es un conjunto de trayectos unidireccionales, bidireccionales y multidireccionales.

Trazado regulador

El proceso de diseño continúa con la construcción del trazado regulador. A partir de la selección del patrón detectado que deriva

¹ Exploración proyectual de la estudiante Florencia Vasiliauskas.

de la jugada con estructura de red, se procede al ordenamiento y regularización del mismo mediante la aplicación de la triangulación de Delaunay. El crecimiento del trazado se realiza mediante cambios de escala, rotaciones y superposiciones.

Construcción tridimensional

Se procede a la tridimensionalización mediante la utilización del trazado regulador, como herramienta ordenadora de una serie de elementos. Se selecciona un sector del trazado y se genera un elenco de piezas tridimensionales de diferentes tamaños. Las mismas se articulan mediante vínculos siguiendo un orden, establecido por repeticiones y rotaciones, para la configuración de una nueva totalidad. En una instancia posterior se genera una envolvente -de carácter topológico- que responde a las lógicas de orden establecidas en el trazado regulador.

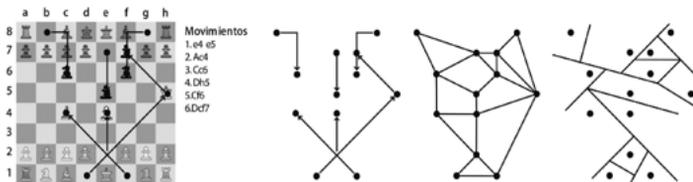


Figura 11. Análisis geométrico. Florencia Vasiliauskas, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

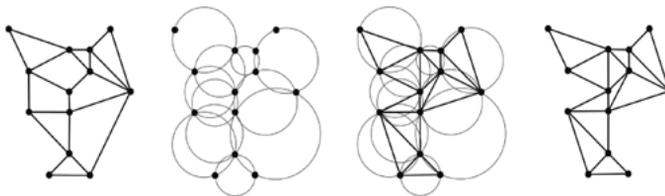
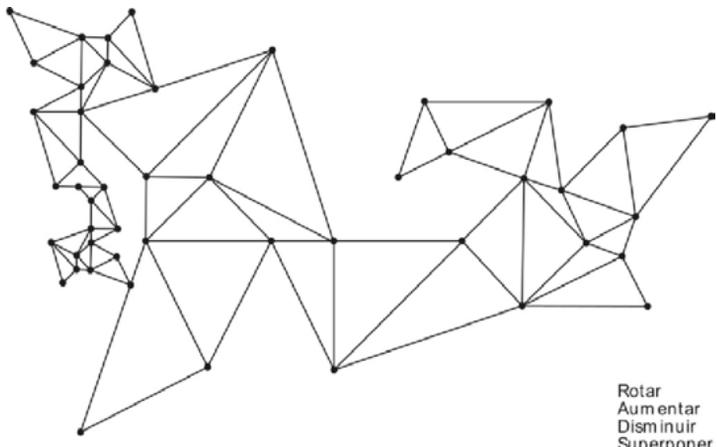
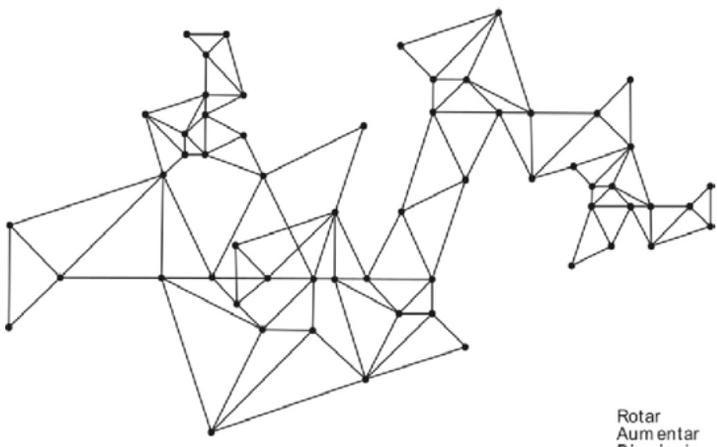


Figura 12. Construcción trazado regulador. Florencia Vasiliauskas, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.



Rotar
Aumentar
Disminuir
Superponer



Rotar
Aumentar
Disminuir
Superponer

Figura 13. Trazado regulador. Florencia Vasiliauskas, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

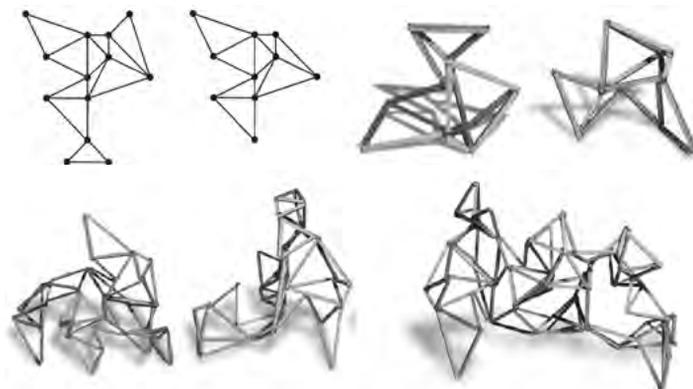


Figura 14. Construcción tridimensional. Florencia Vasiliauskas, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

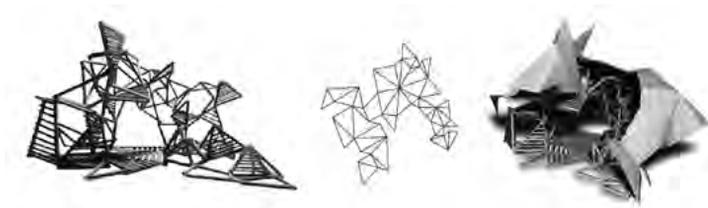


Figura 15. Construcción tridimensional y envolvente. Florencia Vasiliauskas, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

Ajedrez: jaque mate²

Experimentación

El análisis de los movimientos de la jugada que da fin a una partida de ajedrez, el jaque mate, se traduce en esquemas de patrones, como conjunto de trayectorias y teselados. Al igual que en el caso anterior, se genera un conjunto de trayectos unidireccionales, bidireccionales y multidireccionales.

² Exploración proyectual de Marcos Emanuel Rodríguez.

Trazado regulador

Se genera una estructura de ordenamiento de las trayectorias analizadas y se utiliza de base una trama ortogonal regular, la cual deriva del damero del tablero de juego. Este patrón se convierte en el iniciador de la construcción del trazado regulador. Se exploran alternativas de acciones: repetición, traslación, superposición y rotación para su crecimiento.

Construcción tridimensional

A partir de las intersecciones de un sector del trazado bidimensional, posicionado horizontalmente (ejes X e Y), se elevan elementos filares en el eje Z; luego se materializan diagonales entre los vértices de estos y las intersecciones horizontales. Se genera así un armazón tectónico que posteriormente continúa creciendo con acciones de repetición y rotación.

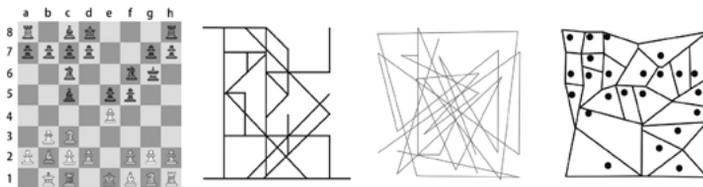


Figura 16. Análisis geométrico. Marcos Emanuel Rodríguez, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

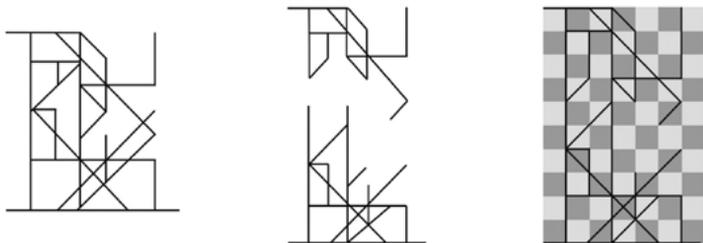


Figura 17. Construcción de trazado regulador. Marcos Emanuel Rodríguez, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

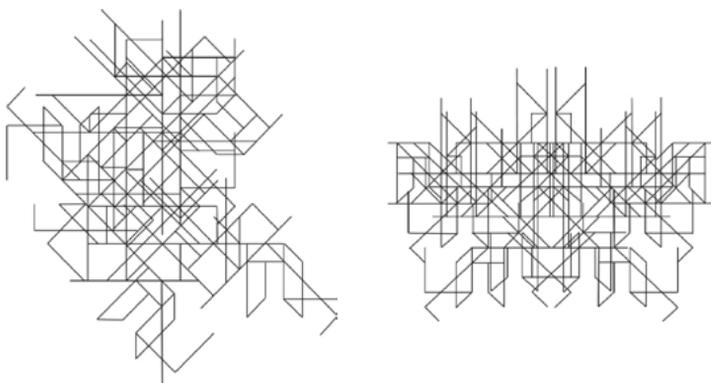


Figura 18. Trazado regulador. (Marcos Emanuel Rodríguez, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021)

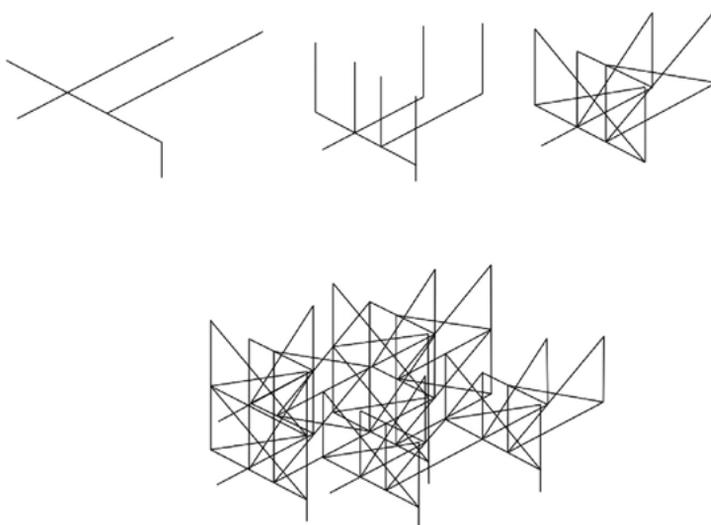


Figura 19. Crecimiento tridimensional. Marcos Emanuel Rodríguez, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

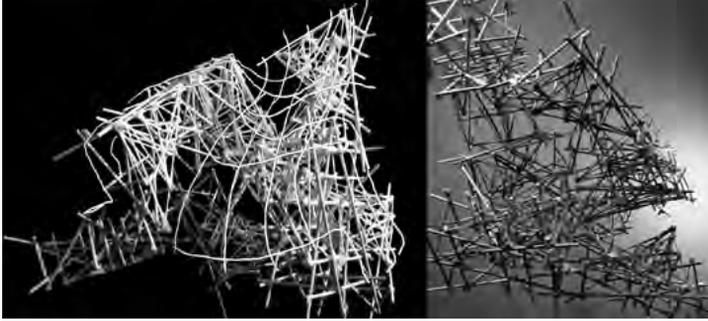


Figura 20. Armazón tectónico. Marcos Emanuel Rodríguez, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.



Figura 21. Prefiguración espacial. Marcos Emanuel Rodríguez, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

Voleibol³

Experimentación

Las rotaciones y los pases realizados por un equipo de voleibol, junto a los movimientos que se generan, se constituyen en el iniciador del proceso de diseño. Del análisis de la jugada y con

³ Exploración proyectual de Oriana Cindric.

foco en quienes juegan y sus movimientos, se registra una serie de esquemas, que devienen en patrones de trayectos multidireccionales, representados por conjuntos de trayectorias, redes y teselados.

Trazado regulador

A partir de los esquemas que surgen del análisis, se selecciona la red que representa la ubicación de quienes juegan y sus movimientos mediante nodos y enlaces, respectivamente, y se procede a su ordenamiento. Con la utilización de un trazado ramificado se procede a ordenar y reubicar los nodos y los enlaces.

Construcción tridimensional

Como primera instancia de la construcción de la estructura tectónica se construye un módulo conformado por tres teselas y que responde a la geometría del trazado regulador. Este elemento se multiplica y se vincula según ángulos predeterminados a partir de una ley de crecimiento, mediante repeticiones y rotaciones. Posteriormente, se incorporan nuevas piezas de menor escala, que contribuyen a la densificación del modelo tridimensional. Se genera una envolvente que responde a las lógicas formales establecidas precedentemente y se vincula a la estructura tectónica mediante las aristas de la misma.

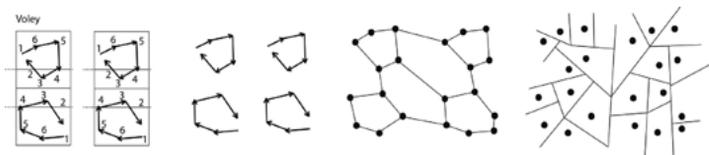


Figura 22. Análisis geométrico Oriana Cindric, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

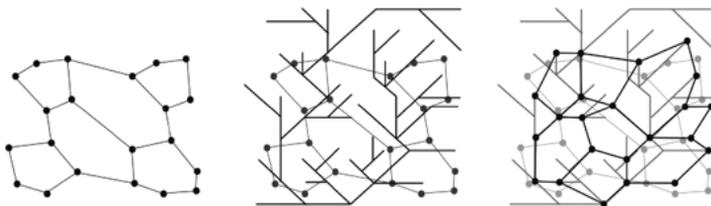


Figura 23. Construcción de trazado regulador. Oriana Cindric, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

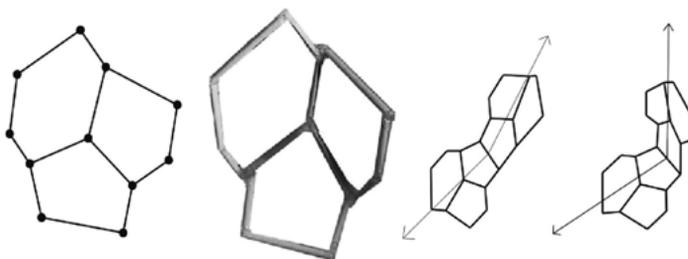


Figura 24. Crecimiento tridimensional. Oriana Cindric, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

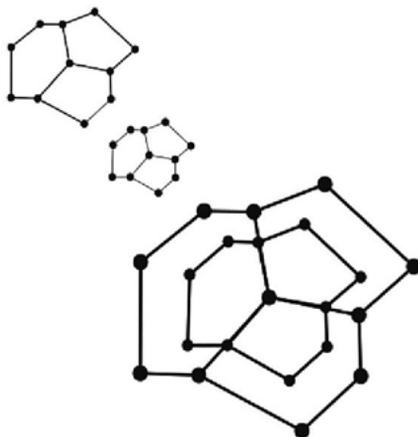


Figura 25. Crecimiento tridimensional. Oriana Cindric, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.



Figura 26. Armazón tectónico. Oriana Cindric, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.



Figura 27. Construcción tridimensional y envolvente. Oriana Cindric, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

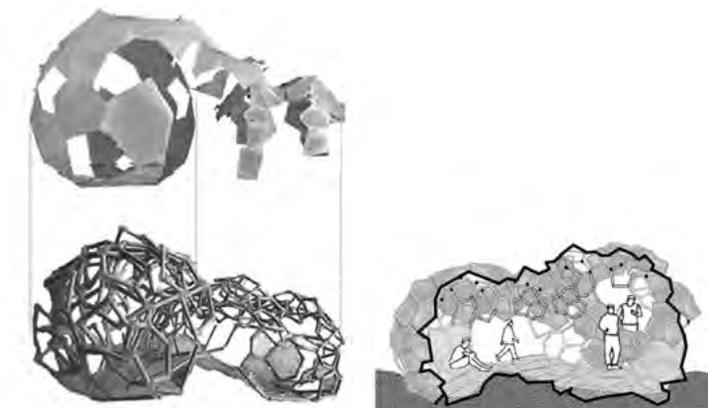


Figura 28. Construcción tridimensional y envolvente. Oriana Cindric, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.



Figura 29. Prefiguración espacial. Oriana Cindric, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

Fútbol⁴

Experimentación

La estrategia de una jugada futbolística se analiza y se traduce de manera gráfica en patrones geométricos. Se construye una red distribuida a partir de la posición de cada participante de un equipo. Sus posibles acciones se representan como trayectos multidireccionales.

Trazado regulador

La red se ordena a partir de una trama ortogonal regular (modulación 1-3-1-2-2-1-3-1 en el eje X y 1-1-2-1-1-2 en el eje Y). El proceso continúa con el crecimiento del trazado regulador mediante

⁴ Experimentación proyectual de Juan Carlos Mendez, 2021.

repetición de la red ordenada y de la estructura de ordenamiento que la regulariza.

Construcción tridimensional

Para la construcción de la tridimensión se establece una ley de crecimiento que plantea la repetición y el cambio de escala (en duplicado) a modo de progresión. A partir de un sector del trazado, se genera una pieza tridimensional, que mediante rotaciones progresivas de 30° y cambio de escala, se produce la estructura tectónica. En este proceso se produce una repetición de fragmentos, con cambio de escala y desarrollo de los vínculos mediante la unión de los nodos. Posteriormente, se genera una envolvente que refleja las lógicas geométricas y de orden ya utilizadas.



Figura 30. Análisis geométrico. Juan Carlos Méndez, 2021. Editado por Lucas Cuevas, 2021.

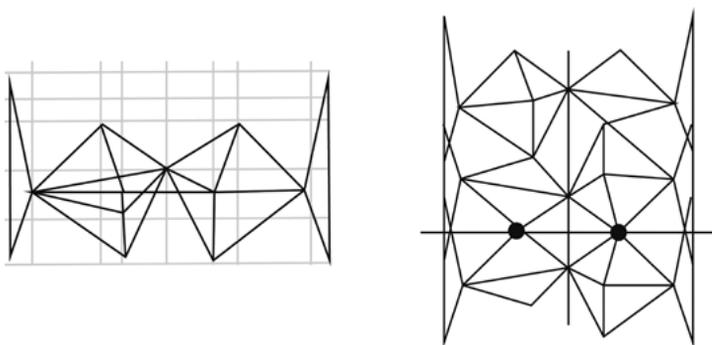


Figura 31. Análisis geométrico. Juan Carlos Méndez, 2021. Editado por Jimena Berzovsky, 2021.

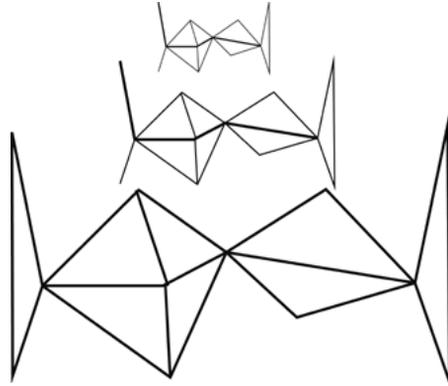


Figura 32. Ley de crecimiento. Juan Carlos Méndez, 2021.
Editado por Jimena Berezovsky, 2021.



Figura 33. Construcción tridimensional. Juan Carlos Méndez, 2021. Editado por Jimena Berezovsky, 2021.



Figura 34. Construcción tridimensional. Juan Carlos Méndez, 2021. Editado por Jimena Berezovsky, 2021.

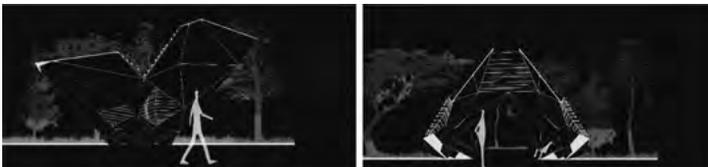


Figura 35. Construcción tridimensional. Juan Carlos Méndez, 2021. Editado por Jimena Berezovsky, 2021.

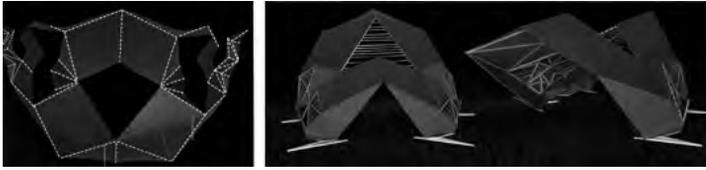


Figura 36. Envolvente. Juan Carlos Méndez, 2021. Editado por Lucas Cuevas, 2021.

Básquetbol⁵

Experimentación

El proceso de diseño surge del análisis de la estrategia de una jugada de un partido de básquet y su traducción a patrones geométricos con estructura de trayectorias. El movimiento de la pelota en el campo, mediante los pases de quienes juegan, genera patrones de trayectos multidireccionales.

Trazado regulador

Un conjunto de circunferencias de diferentes tamaños, posicionadas según una trama regular, ordena el patrón. Se aplica un proceso de crecimiento mediante repetición, traslación y simetría del patrón para la generación de trazado.

Construcción tridimensional

Se selecciona un sector del trazado y se eligen líneas y puntos como referencia de orden para la tridimensionalización. Se establece una serie de elementos verticales, horizontales y diagonales que se organizan y vinculan según la lógica del trazado. También se plantea una trama ortogonal que regula las dimensiones de los elementos verticales y horizontales. Finalmente,

⁵ Experimentación proyectual de Sofía Capdevila.

una envolvente, a modo de piel plegada, completa la configuración de la protoarquitectura.



Figura 37. Análisis geométrico. (Sofía Capdevila, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021)

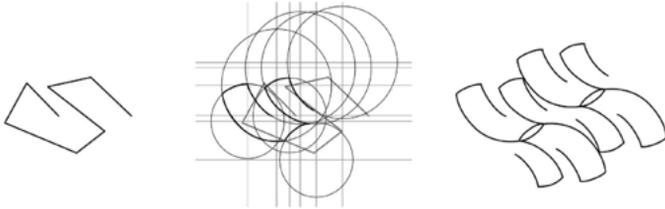


Figura 38. Trazado regulador. Sofía Capdevila, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

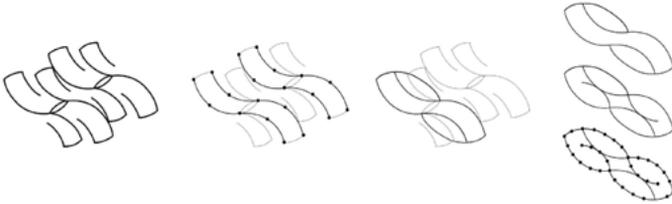


Figura 39. Crecimiento tridimensional. Sofía Capdevila, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

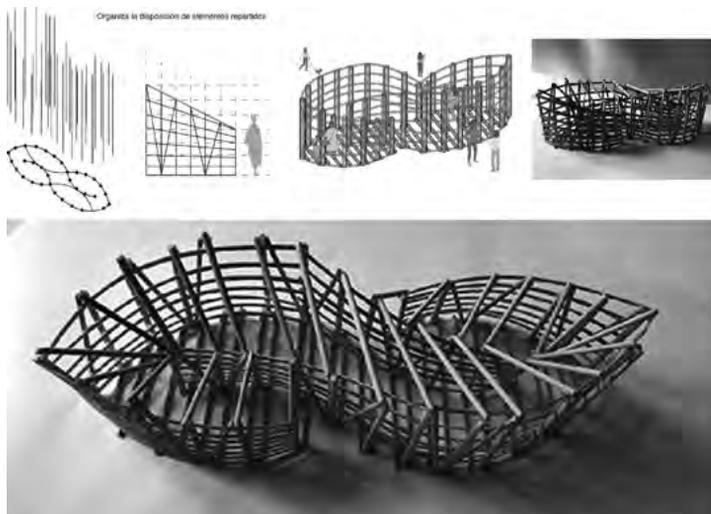


Figura 40. Estructura tectónica. Sofía Capdevila, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

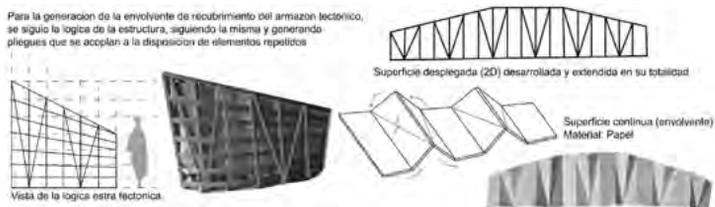


Figura 41. Envoltura topológica. Sofía Capdevila, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.

Figura 42. Prefiguración espacial. Sofía Capdevila, 2020. Editado por Nicolás Fernández, 2021.



REFLEXIONES

Lucas Peries y Silvina Barraud

Este capítulo expone reflexiones, a modo de cierre, con el propósito de precisar prácticas potenciales de la exploración proyectual, enfocadas en la sistematización de órdenes geométricos y con sustento en el traslado disciplinar. Ello se concreta desde los diversos contextos de conocimiento que viabilizan la producción y estructuración de la morfogénesis arquitectónica. Al respecto y en relación con los capítulos precedentes, se concluye que las aproximaciones a la experimentación proyectual desde la mixtura de saberes contribuyen a la concreción de producciones que relacionan e integran conocimientos, mientras propician la continuidad de las líneas de investigación que se afrontan y, por otra parte, demarcan aperturas al conocimiento contingente. El abordaje de la problemática del proceso de diseño en el ámbito de la arquitectura, mediante lógicas externas, permite generar instancias proyectuales alternativas, con nuevos enfoques.

En cuanto a los aspectos metodológicos, se rescata particularmente la vinculación permanente entre enseñanza e investigación, asociada con el despliegue de ejercicios integrales que conjugan resultados preliminares de la investigación, mientras transfieren saberes al ámbito de la enseñanza de la morfología para su ensayo práctico y para la formación de estudiantes. Del mismo modo, las producciones de la experiencia académica se trasladan al proyecto de investigación, para su cotejo y establecimiento como constructo de conocimiento. Otra de las aportaciones se corresponde con

el acercamiento de estudiantes al ejercicio investigativo, en el que desarrollan sus primeras prácticas formales. Esto propicia la posibilidad de despertar interés vocacional, tanto en especialización al campo científico como en la praxis proyectual profesional. Se considera que cada propuesta se nutre con este enfoque trasdisciplinario y transcultural, tal como exponen Herteg, Pioariu y Popescu, se “...investigan problemas, se ofrecen y prueban soluciones desde una perspectiva curricular transversal” (2011: 7).

Con la dinámica “trasdisciplinar” expuesta en esta obra, se construye un bagaje de información múltiple, con carácter conceptual y operacional, que “nutre” el proceso de diseño y realiza aportaciones singulares. Ese cuerpo de conocimiento se convierte en excusa o pretexto para desarrollar prácticas experimentales creativas y espontáneas, mientras son arbitradas y reguladas por los códigos y axiomas correspondientes a cada campo disciplinar en el que se indague. Todo el fenómeno global que cada participante desarrolla -como personalidad creadora- se constituye en la causa y fundamento que desencadena la producción morfológica y, en simultáneo, aporta en la adquisición de valores y la formación de actitudes y aptitudes como profesional del diseño.

Respecto de las exploraciones temáticas, cada línea ofrece alternativas y posibilidades asociadas con sus condiciones específicas; por ejemplo, en el caso de los sistemas de ramificación se precisan con preponderancia los trazados reguladores con lógica de fluji3n y distribuci3n, asociados con los principios de crecimiento vegetal, neuronal y de las descargas el3ctricas. Esto, a partir del ordenamiento de las trayectorias y de la vinculaci3n de nodos para establecer redes relacionales. En las experiencias que trasladan principios de la cinemática, se obtienen estructuras gráficas con órdenes geométricos consecuentes con la lógica mecánica que determinan los dispositivos pendulares que las generan. En estos casos, se plantean estrategias para la construcci3n de trazados que apelan con recurrencia a la superposici3n de esquemas de trayectorias, así como también a la ampliación, reducci3n de fragmentos

y desplazamientos de los mismos, bajo el principio de *scaling*. Las prácticas emergentes de la cimática exploran la posibilidad de visibilizar las ondas sonoras y los fenómenos periódicos de vibración de materias, los cuales se sintetizan en tramas y se traducen en trazados de distorsión, *scaling* y fluxión. En las exploraciones basadas en la Teoría de Juegos se registra la sucesión de movimientos con puntos que fluyen en el espacio y definen trayectorias, ya sea por el desplazamiento de personas como de balones deportivos o fichas de juegos. Los trazados se resuelven en múltiples tipos: regionalización, triangulación, distribución y fluxión. Como ponderación general de la experiencia, se reconocen diversidad y heterogeneidad de alternativas proyectuales, que responden al desafío propuesto y que emergen de la metodología implementada.

Con relación a las disciplinas elegidas para el traslado de saberes, se evidencia que la metodología abordada beneficia la identificación de patrones con potencial para su ensayo y sistematización, por medio de prácticas de indagación disciplinar. Se valora, en ese marco, el aporte de la “disciplinariedad cruzada” como acercamiento de atracción hacia el campo del conocimiento de la morfología. Se pondera que las particularidades de las experiencias direccionan e inciden en la generación de forma arquitectónica.

Este libro pretende hacer una invitación a replicar las experiencias expuestas y a encontrar nuevos resultados; pero también, a animarse para encontrar otras posibilidades aquí no tratadas y provenientes de campos disciplinares aún no explorados, aquellos con potencial para su traspaso a los campos del diseño. Con la disciplinariedad cruzada la puerta está abierta para “salir a jugar” en el campo proyectual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, Claudia, Carbonell, Valeska, Hott, Denise, Magendzo, Abraham y Marfán, Julia. ¿Cómo trabajar los Objetivos Fundamentales Transversales en el Aula? Gobierno de Chile, Ministerio de Educación, Santiago de Chile, 2003.
- Alsina, Claudi y Trillas, Enric, *Lecciones de álgebra y geometría para estudiantes de arquitectura*, Gustavo Gili, Barcelona, 1984.
- Arango, Jaime, Escobar, León y Reyes, Carlos, “Figuras de Chladni en tambores”, *Lecturas matemáticas*, volumen 33 (1), 2012. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/>
- Arnaud, Pierre, Maniez, Francois y Renner, Vicente. *Cross-disciplinary perspectives on lexical blending*. De Gruyter Mouton, Berlín, 2012.
- Banchio, Ingrid. *La transdisciplina en el proceso de ideación arquitectónica, desde un enfoque morfológico*, Tesis de maestría, Universidad Católica de Córdoba, Córdoba, 2012, inédita.
- Baran, Paul, *On distributed communications: I. Introduction to distributed communications networks*, Rand Corporation, Santa Monica (USA), 1964.
- Chladni, Ernst, *Traité d'acoustique*, Chez Coucier, París, 1809.
- Costa, Joan. *Esquematismo, la eficacia de la simplicidad: teoría informacional del esquema*. Experimenta, Madrid, 2019.
- De-Pablos-Pons, Juan. La visión disciplinar en el espacio de las tecnologías de la información y comunicación en *Tecnologías*

- para transformar la educación*, Juana María Sancho Gil (Coord.), Akal, Universidad Internacional de Andalucía, 2006, 77-102.
- Deulofeu, Jordi. *Prisioneros con dilemas y estrategias dominantes*. RBA, Barcelona, 2012.
- Di Castri, Francesco y Hadley, Malcom “Enhancing the credibility of ecology: Is interdisciplinary research for land use planning useful?”, *Geo Journal*, volumen 13, 1986, 299-325.
- Doberti, Roberto, *Espacialidades*. Ediciones Infinito, Buenos Aires, 2008.
- Dóczy, György, *El poder de los límites: proporciones armónicas en la naturaleza, el arte y la arquitectura*, Troquel, Buenos Aires, 1996.
- Dóczy, György. *El poder de los límites: proporciones armónicas en la naturaleza, el arte y la arquitectura*, Troquel, Buenos Aires, 1996.
- Elam, Kimberly, *Geometry of design*, Princeton Architectural Press, New York, 2001.
- Español, Joaquim, *El orden frágil de la arquitectura*, Fundación Caja de Arquitectos, Barcelona, 2001.
- Ferrater, Borja, *Sincronizar la geometría: fuentes ideográficas*, Actar, Barcelona, 2006.
- Freire, Pablo. *Pedagogía de la esperanza*, Siglo XXI editores, Buenos Aires, 2002.
- Garay, Domingo y Agüero, Juan. *Sistemas de información y ordenamiento territorial delimitación hidrográfica y caracterización morfométrica de la Cuenca del Río Anzu*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, La Rioja, 2018.
- Ghyka, Matila, *Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes*, Poseidón, Barcelona, 1983.
- Gibbons, Robert. *Un primer curso de teoría de juegos*. Antoni Bosch Editor, Barcelona, 1992.

- Golgi, Camillo. *On the structure of nerve cells*. Journal of Microscopy, 155, 3-7, Pavia, 1989.
- Gombrich, Ernst Hans, *El sentido del orden*. Debate, Madrid, 1979, 1999.
- Halle, Francis. Arquitectura de los árboles, *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 45 (3-4), p. 405-418, Córdoba, 2010.
- Hargreaves-Heap, Shaun. *Game Theory, a critical text*, Routledge, Londres, 2004.
- Herteg, Crina, Pioariu, Rodica y Popescu, Teodora. *Cross-disciplinary Approaches to the English Language: Theory and Practice*. Cambridge Scholars Publishing, 2011.
- Horton, Robert. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56, 275-370, doi:[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDO SAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDO SAT]2.0.CO;2), 1945.
- Jenny, Hans, “Las imágenes del sonido”, *El correo UNESCO*, volumen 22 (12), 1969. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/>
- Jenny, Hans, *Cymatics. a study of wave phenomena and vibration*, MACROmedia, Newmarket, 2001.
- Lega-Lladós, Ferran, Creación sonora sobre fluidos. *Research Art Creation*, volumen 3 (2), 2015, 122-158. DOI: 10.17583/brac.2015.1390.
- Lega-Lladós, Ferran, *La Cimática como herramienta de expresión artística*, tesis doctoral, Universitat de Barcelona, Barcelona, 2013, inédita.
- Litwin, Edith. *El oficio de enseñar. Condiciones y contextos*. Paidós, Buenos Aires, 2016.
- Lundy, Miranda. *Quadrivium. Las cuatro artes liberales clásicas: aritmética, geometría, música y astronomía*. Librero, Madrid, 2015.

- Macagno, Enzo. *Leonardian fluid mechanics i- history of kinematics - Inception of modern kinematics* Monograph, Iowa Institute of Hydraulic Research The University, 1991.
- Mantilla, Ricardo, Mesa, Oscar y Poveda, Germán. *Geometría, topología y morfometría de las cuencas Magdalena, Cauca ytratoa, a partir de modelos digitales de terreno*, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2018.
- Margery-Bertoglia, Enrique. *Complejidad, transdisciplinariedad y competencias: Siete viñetas pedagógicas*. Letreme editorial, Valencia, 2019.
- Martineau, John (Ed.). *Quadrivium: Las cuatro artes liberales clásicas*. - (2014) *Sciencia: Matemáticas, Física, Química, Biología y Astronomía*. - (2016) *Designa: Los secretos técnicos de las artes visuales tradicionales*. - (2016) *Geomancia: Dragones, feng shui, líneas ley, radiestesia y misterios de la tierra*. - (2016) *Trivium: Las artes liberales clásicas de gramática, lógica, retórica*. - (2019) *Megalitos: Estudios en piedra*. Librero, Madrid, 2014.
- Mesa, Oscar. Cuatro modelos de redes de drenaje. *Academia Colombiana Ciencia Ex. Fis. Nat.* 42(165), 379-391. <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.641>, Medellín, 2018.
- Moisset, Inés. *Fractales y formas arquitectónicas*. I+P, Córdoba, 2003.
- Morcillo, Jordi e Illescas, Miguel. *Aprendemos a pensar jugando*, Malpe, Barcelona, 2012.
- Muñoz, María Teresa. *La mirada del otro*. Ediciones Asimétricas, Madrid, 2010.
- Naselli, César. “El proceso de diseño como concepto instrumental”, en Goytia, Noemí *Cuando la idea se construye*, Screen, Córdoba, 1999, 28-32.
- Naselli, César. *El rol de la innovación creadora en la lógica interna del diseño arquitectónico*. I+P. EDUCC, Córdoba, 2013.

- Nicolescu, Basarab. *La transdisciplinariedad. Manifiesto*. Edición 7 Saberes, México, 1996.
- Peries, Lucas. “La experimentación proyectual en la enseñanza de la morfología arquitectónica” en Moisset, Inés y Peries, Lucas (Comp.), *La experimentación proyectual: actas VIII Projetar* 2017, UBA, Buenos Aires, 2017, 534-547.
- Peries, Lucas. “Órdenes geométricos complejos en la construcción de trazados reguladores” en Pollet, Amanda (Comp.), *VII Jornadas de Investigación “Encuentro y Reflexión*, FAUD. UNC, Córdoba, 2018, 35-42.
- Peries, Lucas. *Esteretomía y topología en arquitectura*, EDUCC, Córdoba, 2016.
- Quaroni, Ludovico, La geometría de la arquitectura. En Ludovico Quaroni, *Proyectar un edificio: ocho lecciones de arquitectura*, 134-158. Xarait, Madrid, 1987.
- Quintanilla, Miguel y Vidal, Javier. Specialisation and Cross-disciplinarity Patterns and the Design of New Higher Education Programmes en *Higher Education Management*, 12, 2, 2000, 53-63.
- Ramón y Cajal, Santiago. ¿Neuronismo o reticularismo? Las pruebas objetivas de la unidad anatómica de las células nerviosas. Arch Neurobiol.
- Sánchez-Yustos. “Los márgenes del pasado. La producción transdisciplinar del saber arqueológico” en *Complutum*, volumen 25 (1), 2014, 9-16.
- Sarquis, Jorge y Buganza, Jacob. La teoría del conocimiento transdisciplinar a partir de Manifiesto de Basarab Nicolescu en *Fundamentos en Humanidades*, volumen 10, (19), 2009, 43-55.
- Strogatz, Steven, “Explorando las redes complejas”, *Fisuras de la cultura contemporánea*, volumen 11 (Enredados), 2001, 125-145.
- Torres-Santomé, Jurjo. *Globalización e interdisciplinariedad: el currículum integrado*. Morata, Madrid, 1994.

- Tourn, Mónica, Barthelemy, Daniel y Grosfeld, Javier. Una aproximación a la arquitectura vegetal: conceptos objetivos y metodología. *Boletín Sociedad Argentina de Botánica*. 34(1-2), 85-99, Buenos Aires, 1999.
- Waller, Mary, *Chladni figures, a study in symmetry*, G. Bell and Sons, Londres, 1961.
- Watts-Hughes, Marie, *The eidophone: geometrical & natural forms produced by vibrations of the human voice*, Christian Herald, Londres, 1904.

SOBRE LOS/AS AUTORES

Lucas Peries

Doctor en Arquitectura por la Universidad de Buenos Aires (UBA). Magíster en Arquitectura Paisajista por la Universidad Católica de Córdoba (UCC). Arquitecto por la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Profesor titular en la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño UNC. Profesor en la Facultad de Arquitectura UCC. Profesor de distintas carreras de posgrado. Profesor invitado en múltiples universidades de Latinoamérica. Director de proyectos de investigación, con enfoque en los campos de la forma y el paisaje. Becario del CONICET, SeCyT-UNC y UCC. Socio de la Sociedad de Estudios Morfológicos de Argentina (SEMA). Codirector ejecutivo de la Iniciativa Latinoamericana del Paisaje. Miembro del Comité Permanente de Educación y Asuntos Académicos IFLA-AR. Autor y coautor de numerosos libros y artículos en revistas científicas. Acredita cinco distinciones en bienales y congresos internacionales por labor teórica.

Silvina Barraud

Doctora en Arquitectura por la Universidad de Mendoza. Magíster en Diseño Arquitectónico y Urbano por la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Arquitecta por la UNC. Becaria Secretaría de Ciencia y Tecnología (SeCyT-UNC) y del programa de becas de posgrado por la Universidad Católica de Córdoba (UCC). Profesora Adjunta de la Cátedra de

Morfología 2 B y de Introducción a la Problemática del Diseño y su Expresión, FAUD-UNC. Investigadora categoría III. Evaluadora de proyectos de investigación. Miembro de proyectos de Investigación (SeCyT) y UCC. Premios y distinciones en investigación. Dirección y codirección de trabajos finales de postgrado. Disertante en congresos, seminarios y jornadas. Autora y coautora de libros y artículos. Integrante del equipo de trabajo “Un día/una arquitecta”.

Natalia María Colombano

Magister in Programmazione di Ambienti Urbani Sostenibile por la Universidad de Ferrara, Italia, 2006. Arquitecta por la Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Córdoba (UCC), 2001. Profesora Asistente de la Cátedra de Morfología 2B en Universidad Nacional de Córdoba, 2014 -2021. Jefa de trabajos prácticos en la Cátedra de Diseño Urbano I de UCC, 2007-2021. Profesora de Proyecto 1 Universidad Provincial de Córdoba 2018-2021. Realiza publicaciones y exposiciones en temáticas relativas al diseño, la arquitectura, la morfología y el paisaje.

Carlos Merlo

Especialista en Docencia Universitaria por la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata. Arquitecto egresado de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Profesor asistente de las cátedras: Morfología 2B, Sistemas Gráficos de Expresión B y Gráfica Arquitectónica, FAUD-UNC. Investigador categoría V. Miembro de proyectos de investigación en la UNC. Disertante en congresos, seminarios y jornadas. Miembro organizador y evaluador en congreso de Expresión Gráfica en Ingeniería, Arquitectura y áreas afines. Disertante en congresos, seminarios y jornadas. Autor y coautor de libros.

Álvaro Coria

Arquitecto egresado de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Maestrando en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Córdoba. Profesor asistente de la cátedra de Morfología 2 B en la FAUD-UNC. Profesor titular y adjunto en la Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño de la Universidad de Mendoza. Miembro de proyectos de Investigación UNC. Disertante en congresos, seminarios y jornadas. Autor y coautor de capítulos de libros.

Lucas Cuevas

Arquitecto por la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), 2003. Posgraduado del Instituto de Diseño de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Córdoba. Profesor Asistente de Morfología 2B en la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño UNC desde 2016. Jefe de Trabajos Prácticos de Morfología en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Córdoba 2012-2013. Profesor Asistente del Curso de Nivelación FAUD-UNC, desde 2014. Realiza investigación en temáticas relativas al diseño, la morfología arquitectónica y la arquitectura.

Jimena Berezovsky

Magíster en Arquitectura Paisajista por la Universidad Católica de Córdoba. Arquitecta por la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Profesora Asistente e integrante de proyectos de investigación en FAUD-UNC. Asesora técnica en la Dirección de Planeamiento Urbano de la Municipalidad de Córdoba. Autora de artículos científicos con disertaciones en congresos y eventos académicos.

