

# SEMINARIO INTERNACIONAL DE ARQUITECTURA

/ 2016

 **The Digital Reveal**  
▸ Arquitectura de la era Post-Digital

**Editores:**

Rodrigo Velasco,  
Diego Chavarro  
Aaron Brakke,  
Ivanna Díaz



DEPARTAMENTO DE  
**RELACIONES  
INTERNACIONALES  
E INTERINSTITUCIONALES**  
UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA



SEMINARIO INTERNACIONAL DE  
**ARQUITECTURA**  
/ 2016

 The **Digital** Reveal  
▸ Arquitectura de la era Post-Digital

**Editores:**  
Rodrigo Velasco, Diego Chavarro  
Aaron Brakke, Ivanna Díaz

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**

José María Cifuentes Páez

**Presidente**

Patricia Piedrahíta Castillo

**Rectora**

Rodrigo Lobo-Guerrero Sarmiento

**Director de Publicaciones**

**y Comunicación Gráfica**

Mauricio Hernández Tascón

**Director de Investigaciones**

Diego Ramírez Bernal

**Coordinador General**

**de Publicaciones**

María Isabel Cifuentes Martín

**Directora Departamento de Relaciones**

**Internacionales e Interinstitucionales**

Patricia Farfán Sopó

**Decana Administrativa**

**Programa de Arquitectura**

Édgar Camacho

**Decano Académico**

**Programa de Arquitectura**

**Seminario Internacional de Arquitectura**

**The Digital Reveal**

**Arquitectura de la era Post-digital**

**Edición N.1 - 2016 (Bogotá, Colombia)**

**ISSN: 2500-7505**

**Copyright ©**

**Autores:** Brady Peters; Ingrid Paoletti;  
Michael Hensel; Clemens Preisinger;  
Mostapha Sadeghipour; Michael Szivos;  
Sean Ahlquist; Pablo Herrera.

**Editores:** Rodrigo Velasco; Diego Chavarro;  
Aaron Brakke; Ivanna Díaz

**Traductores:** Ivanna Díaz, Diego Chavarro,  
Rodrigo Velasco, María Camila Coronado,  
María Catalina Venegas, Gabriela Gonzáles,  
Julián González, Juan Diego Ardila.

**Corrección de estilo:**

Diego Pérez Medina

**Diseño de portada**

Coordinación de publicaciones  
Programa de Arquitectura

**Imagen de portada**

NOVA. Instalación para el Flatiron Holiday,  
Nueva York, Estados Unidos.  
Fuente: Szivos, M. (2016).

**Diagramación y diseño**

Daniela Sánchez H.  
Michelle Castillo M.

**Impresión:**

Digiprint Editores S.A.S

Esta obra literaria es una compilación de las conferencias y proyectos enviados por sus autores, para la publicación seriada del Seminario Internacional de Arquitectura; en consecuencia, cada uno de los artículos expresa exclusivamente la opinión de sus respectivos autores, de manera que no representan el pensamiento de la Universidad Piloto de Colombia. Cada uno de los autores suscribió una licencia uso a favor de la universidad, la cual incluye una declaración de originalidad sobre la obra, por lo que la responsabilidad sobre los derechos de autor, el contenido literario e imágenes enviadas será asumida única y exclusivamente por las personas que enviaron las obras literarias y artísticas para su publicación.

This literary work is a compilation of the conferences and projects, submitted by their respective authors for the serialized publication of the Seminario Internacional de Arquitectura (International Architecture Conference). Thus, each of the articles expresses, exclusively, the opinion of their respective authors in a way that it does not represent the thought or philosophy of the Universidad Piloto de Colombia. Each of the authors subscribed a license of use in favor of the University that includes a declaration of originality of the work. The said declaration entails that the responsibility of the copyright, literary content and submitted images will be assumed solely by the persons who submitted the literary and artistic works for their publication.

# CONTENIDO

## CONFERENCIAS

- 14 Diseñando el futuro.  
Arquitectura, simulación y computación  
**Brady Peters**
- 24 Personalización avanzada para el diseño arquitectónico y la construcción. Panorama y experimentaciones  
**Ingrid Paoletti**
- 32 Arquitectura orientada por el desempeño y diseño generado por datos  
**Michael U. Hensel, Søren S. Sørensen**
- 42 Patrones de flujo de trabajo para ingeniería estructural paramétrica  
**Clemens Preisinger, Robert Vierlinger, Moritz Heimrath**
- 52 Diseño medioambiental para edificios, como proceso iterativo empleando herramientas computacionales  
**Mostapha Sadeghipour Roudsari**
- 58 Se ve bien en papel: especulación y construcción  
**Michael Szivos**
- 64 Arquitecturas con responsividad social y sensorial. Implementación de computación y materiales  
**Sean Ahlquist**
- 76 Programación y fabricación digital en Latinoamérica: problemas y perspectivas  
**Pablo C. Herrera**

## PROYECTOS

- 88 **ENVOLVENTES PARAMÉTRICAS /**  
90 Panelización compleja mediante algoritmos basados en agencia  
**Satoru Sugihara**  
92 Sistema plegado  
**César Díaz**  
94 Fruncido Robótico Reticular  
**Andrew Saunders**  
96 Diseño de un espacio con eficacia funcional  
**Camilo Andrés Cifuentes Quin**  
98 Sistema de cortasoles responsivos  
**Rodrigo Velasco**  
100 Responsive Skins  
**Fabiano Continanza, Jimena Araiza**  
102 Innovación en envolventes cerámicas  
**Ramón Galvis Centurión, Carmen Xiomara Díaz Fuentes**
- 104 **ESPACIOS INTERACTIVOS /**  
106 Contenido digital y redes en línea  
**Andrés Barrios**  
108 Ciudades invisibles  
**Alejandro Puentes Amézquita, Yiyang Liang**  
110 NESL  
**Design Futures Lab**  
112 Hypercell  
**Pavlina Vardoulaki, Ahmed Shokir, Cosku Çinkiliç, Houzhe Xu,**  
116 Pabellón interactivo  
**David Dória**  
118 Mobiliario urbano interactivo  
**Ivanna Díaz**
- 122 **ESTRUCTURAS, MATERIALES Y FABRICACIÓN /**  
124 Instituto para la fabricación digital  
**Kevin R. Klinger**  
128 Cielo dunar  
**Katherine Cáceres Corvalan, Francisco Calvo Castillo**  
132 Bóvedas metálicas  
**Pablo Baquero, Effimia Giannopoulou, Jaime Cavazos**  
136 FURETSU  
**Francesco Milano, Karen Antorveza**  
140 Pabellón funicular  
**Ivanna Díaz, César Díaz**  
144 Mesas Wafflera y Fuchs  
**Gabriela Gonzáles F., Julián González M., Juan Diego Ardila G.,**  
146 Geometrías fresadas  
**Robert Trempe**  
150 BANCAPAR  
**Nicolás Saez, Mauro Chiarella**

# PRÓLOGO

---

**Patricia Farfán Sopó**  
Decana Administrativa  
del programa de Arquitectura

---

En el marco de la celebración de los 54 años de fundación de la Universidad Piloto de Colombia, el Programa de Arquitectura presenta a la comunidad académica la publicación que surge con motivo del Seminario Internacional de Arquitectura: *The Digital Reveal: Arquitectura de la era post-digital*.

En la última década observamos la necesidad de incorporar nuevas tecnologías en las aulas de clase, como apoyo y sin dejar de lado el sistema tradicional. De esta manera y de forma progresiva, han ido surgiendo en la estructura interior del Programa de Arquitectura nuevos elementos enfocados a estas tecnologías contemporáneas, que incluyen al menos quince proyectos de grado, tres electivas, cinco investigaciones, más de veinte publicaciones nacionales e internacionales, así como dos proyectos importantes: la consolidación del laboratorio Fablab y el desarrollo de la Maestría en Tecnologías Digitales para la Construcción.

Desde el laboratorio de Tecnología y el laboratorio FabLab, nace la XI versión del Seminario Internacional de Arquitectura.

Este hace parte de la persistente labor mancomunada de los docentes y del cuerpo administrativo por buscar nuevos horizontes que les permitan a los estudiantes una visión vanguardista y diferentes posibilidades de la arquitectura en la actualidad. Este año, además de las conferencias impartidas por reconocidos personajes a nivel internacional, queda, como resultado del seminario, este libro y una convocatoria de proyectos internacionales, lo cual lo hacen único en su género.

De esa manera, el seminario y esta publicación promueven nuevos espacios y expanden las fronteras de nuevas metodologías y recursos tecnológicos que permitan traducir en realidad los conceptos arquitectónicos propuestos al diseñar. Por medio de las herramientas especializadas que hoy se presentan, pretendemos abrir un nuevo horizonte a estudiantes, profesores y practicantes, con el fin de renovar los principios fundacionales de nuestra institución, en donde, como el mismo nombre lo indica, Piloto, sigamos siendo gestores de experiencias pioneras, y modelos académicos a seguir.

# INTRODUCCIÓN

---

**Rodrigo Velasco**  
**Aaron Brakke**  
Docentes investigadores  
del Programa de Arquitectura  
Universidad Piloto de Colombia

---

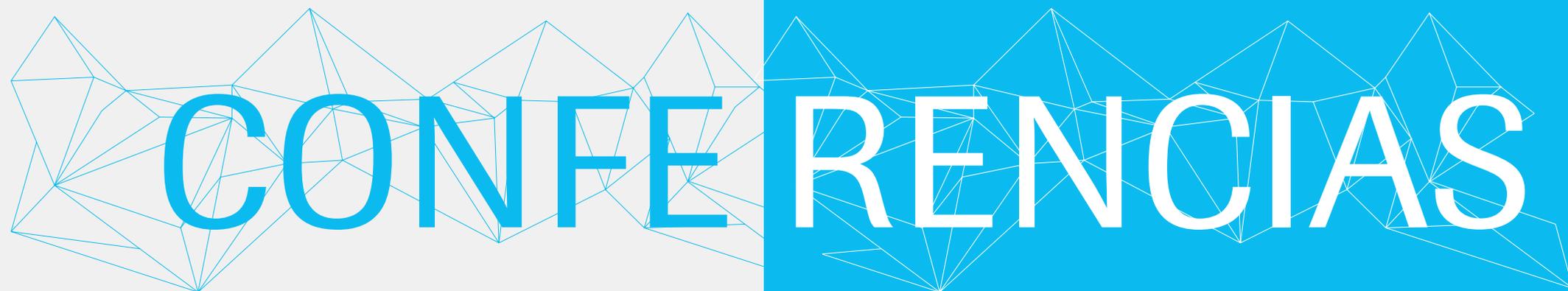
Hoy, con más de quince años en el siglo XXI, y pasado más de un siglo del comienzo de la computación, los arquitectos nos enfrentamos a la era de la información posdigital y, como diseñadores, seguimos explorando maneras de integrar estas tecnologías en la construcción. Nuevos desarrollos tecnológicos aparecen constantemente y se comparten en una comunidad global abierta sobre la red, permitiendo no sólo agilizar procesos tradicionales, sino ampliar e incluso modificar las capacidades de la disciplina, lo cual redefine nuestro papel como arquitectos para lograr abordar la complejidad de nuestros problemas contemporáneos. En la arquitectura, sin embargo, las persistentes tendencias meramente formalistas asociadas a la creación de edificios ícono debilitan profundamente las posibilidades que lo “paramétrico”, “digital” o “computacional” tienen para ofrecer en términos de arquitectura integral. Al reunir una selección de arquitectos, ingenieros e investigadores que exploran las ventajas de la computación, más allá de lo puramente estético, *The Digital Reveal*, mediante esta publicación y el evento asociado,

propone una plataforma para *revelar* varias de las diversas direcciones en las cuales la computación está permitiendo desarrollos integrados al diseño y producción en arquitectura, haciendo énfasis en el concepto de *desempeño*. Se pretende así inspirar un diálogo crítico alrededor de la educación y la práctica en Latinoamérica. Los trabajos presentados aquí están divididos en dos partes: la primera incorpora once contribuciones escritas por los invitados internacionales y traducidas exclusivamente para esta publicación; la segunda incluye veintiún proyectos que llegaron por medio de convocatoria abierta para ser presentados en la conferencia. Dentro de la primera parte, hemos diferenciado las contribuciones en tres áreas. Una primera introductoria y de discusión general sobre el tema general de la publicación, compuesta por los artículos “Diseñando el futuro”, de Brady Peters (Universidad de Toronto), “Personalización avanzada para el diseño arquitectónico y la construcción”, de Ingrid Paoletti (Politécnico de Milán), “Arquitectura orientada al desempeño y generada por datos”,

de Michael Hensel y Søren S. Sørensen (Ocean North). Una segunda área enfocada en simulación y optimización la integran las contribuciones “Patrones de flujo de trabajo para ingeniería estructural paramétrica”, de Clemens Preisinger (Bollinger-Grohmann) y “Diseño medio-ambiental para edificios como proceso iterativo”, de Mostapha Sadeghipour (Universidad de Pensilvania). Finalmente, una tercera área sobre la fabricación y su relación directa con el diseño la componen los artículos “Se ve bien en papel”, de Michael Szivos (Softlab), “Arquitecturas con responsabilidad social y sensorial”, de Sean Ahlquist (Universidad de Michigan), y “Programación y fabricación digital en Latinoamérica” de Pablo Herrera (Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas). La segunda parte está definida por tres temas directamente relacionados con áreas de desarrollo investigativo en la Universidad Piloto de Colombia: “Envoltentes paramétricas”, editada por Rodrigo Velasco, “Estructuras y fabricación digital”, editada por Ivanna Díaz, y “Espacios Interactivos”, editada por Diego Chavarro. Cada una

de las partes incluye introducciones que describen el área particular en el contexto del programa de arquitectura.





**CONFERENCE** **RENCIAS**

# DISEÑANDO EL FUTURO

ARQUITECTURA, SIMULACIÓN Y COMPUTACIÓN

## Brady Peters

Profesor asistente  
en la Universidad de Toronto  
<http://www.bradyeters.com/>  
[brady.peters@daniels.utoronto.ca](mailto:brady.peters@daniels.utoronto.ca)

### ► DISEÑANDO EL FUTURO

Los arquitectos diseñan para el futuro. No sólo a partir de edificios se forman las ciudades del futuro, también desde el dibujo y el diseño que experimentan futuros posibles. Necesariamente optimistas, los arquitectos diseñan para lograr mejores formas de vida, para cambiar situaciones existentes en situaciones deseadas (Simon, 1996). Para diseñar el futuro, es necesario pensar de forma creativa, ampliamente y radicalmente. Mientras que los arquitectos son expertos en pensar abstractamente acerca de problemas complejos y conceptualizar escenarios futuros, la arquitectura esta basada también en el presente y en la realidad. Los arquitectos deben hacer frente a los aspectos prácticos del desempeño del edificio, problemas de fabricación y construcción, y tienen la responsabilidad con sus clientes y la sociedad de diseñar edificios seguros y funcionales que beneficien a la comunidad en general. Los edificios, y su agregación —Las ciudades—, consumen una gran cantidad de energía y recursos (Clark, 2013), lo que significa que los arquitectos tienen una oportunidad increíble para limitar el impacto humano sobre el ecosistema global. Los arquitectos deben sintetizar las preocupaciones sociales del

cambio climático, la energía y el uso de recursos, junto con un lugar específico y el entorno local de la arquitectura. El diseño digital ofrece nuevas oportunidades a los arquitectos para cambiar la forma en que diseñamos y para amplificar nuestra capacidad para predecir futuros escenarios.

Los arquitectos pueden ahora realizar simulaciones de condiciones medioambientales en términos de uso de materiales, consumo de energía y huella de carbono, e incluso sobre las cualidades experimentadas de luz, calor, sonido o el flujo de aire (Peters y Peters, en prensa). Más allá de la importancia crítica de diseñar edificios que sean amables con los ecosistemas que consumen energía en exceso, la exploración de estos terrenos invisibles ofrece nuevas posibilidades para la definición del espacio arquitectónico, el cerramiento y el significado en la arquitectura. No sólo son estos aspectos fundamentales en términos de salud y bienestar, sino que también influyen en nuestra impresión perceptiva y espacial de la arquitectura (Lally, 2012). En el pasado, estos conceptos se trataron mediante ensayos físicos, pero cada vez más éstos se integran en el proceso de diseño a través de nuevas herramientas digitales, la simulación y la visualización.

A través de un análisis de las prácticas actuales de diseño digital, procesos paramétricos, métodos generativos, el cálculo y diseño de algoritmos y la simulación, este ensayo esbozará el potencial que tienen hoy los arquitectos para diseñar el futuro.

### ► DISEÑO DIGITAL

[Ver Figura 1]<sup>1</sup> El diseño es un concepto que ha sido definido de diversas formas. Sin embargo, la mayoría de las definiciones de diseño comparten tres características: en primer lugar, es un proceso; en segundo lugar, este proceso es orientado a unos objetivos, y tercero, el objetivo del diseño es resolver problemas, mejorar las situaciones o crear algo nuevo o útil (Friedman, 2003). La práctica de la arquitectura en términos del diseño de un proyecto de construcción es una red compleja de limitaciones físicas, sociales, económicas, espaciales

<sup>1</sup> . Figura 1. El Proyecto de Manufactura de Superficies Acústicas Paramétricas (MPAS, por sus siglas en inglés) presenta nuevas potencialidades para la arquitectura acústica. Proyecta el desempeño acústico como más que un valor único en un rango de valores diferenciados. La simulación y el modelado probaron ser partes esenciales del proceso de diseño y el modelo paramétrico se tornó un elemento organizador central que vinculó diseño, simulación y fabricación para el equipo de diseñadores.

y ambientales. En cualquier momento, nueva información producida por la representación o desde cualquier lugar puede generar grandes cambios en la trayectoria del diseño. Cambios secundarios en el diseño pueden modificar sutilmente o sustancialmente los objetivos del proyecto. Las herramientas que se utilizan pueden necesitar ser modificadas o requerir la construcción de herramientas completamente nuevas.

Toda la arquitectura es ahora digital en el sentido de que la mayoría del dibujo, la documentación y la comunicación se realiza utilizando herramientas digitales; los procesos del diseño digital sustentados en el modelado 3-D (Glymph, 2003), la transformación paramétrica (Woodbury, 2007), la generación de modelos geométricos computacionales (Peters, 2007); adicionalmente, apoyando la mejora en el desempeño medioambiental por medio de simulaciones (Malkawi, 2005). La aplicación de la tecnología informática se basa necesariamente en procedimientos lógicos y racionales. Sin embargo, el diseño también implica la intuición y la conjetura.

Tom Maver, un pionero en el campo de las tecnologías de la información describe las herramientas de diseño digital

definidas en cuatro elementos principales: representación, medición, evaluación y modificación, en donde, el diseñador genera una hipótesis de diseño que se introduce en el computador (representación); el software del computador modela el comportamiento del diseño y genera una medición del desempeño (medición); el diseñador ejerce su juicio de valor (evaluación), y decide sobre los cambios apropiados en la hipótesis del diseño (modificación) (Maver, 1980). Se reconoce que el diseño “es una actividad humana iterativa, exploratoria” y que algunos atributos “desafían la enumeración”. Maver sugiere un movimiento hacia modelos que permitan la evaluación experimental de las cualidades del artefacto diseñado y llega a la conclusión de que los modelos de diseño en sí tienen que ser diseñados, y que las profesiones de diseño deben ver el futuro desarrollo de estos modelos como un reto fundamental.

#### ► PROCESOS PARAMÉTRICOS

Las herramientas de diseño paramétrico permiten a los arquitectos dibujar en formas diferentes al uso del lápiz y el papel. El modelado paramétrico, también conocido como el *modelado restringido*, introduce un cambio fundamental en el acto de diseño: mientras que los diseñadores siguen añadiendo y borrando marcas en el dibujo, ahora deben también tener en cuenta la relación entre ellas (Woodbury, 2010). Hugh Whitehead afirma:

El parametricismo es más acerca de una actitud de la mente que cualquier aplicación de software en particular. Tiene sus raíces

en el diseño mecánico [...] es una manera de pensar que algunos diseñadores pueden encontrar extraña, pero para la cual el primer requisito es una actitud de la mente que busca expresar y explorar las relaciones. (Woodbury, 2010)

Mientras los procesos paramétricos podrían considerarse perjudiciales para el éxito de un concepto de diseño, ya que limitan las soluciones posibles, hay evidencias que sugieren que estos procesos fomentan soluciones innovadoras de diseño arquitectónico (Kilian, 2006). [Ver Figura 2]<sup>2</sup>

Aunque el primer sistema de diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés) fue paramétrico, cuando se introdujeron los sistemas comerciales eran esencialmente tableros de dibujo digitales que digitalizaban métodos de diseño arquitectónicos existentes. Estos no permitían métodos computacionales (Aish, 2013). En 2003, los sistemas de diseño paramétrico se volvieron a introducir a los sistemas CAD de arquitectura comercial mediante el desarrollo de GenerativeComponents (Mueller y Smith, 2013). El desarrollo de este software ha sido vinculado a los talleres SmartGeometry donde se puso a prueba, y el trabajo profesional de los miembros de la comunidad influyó en

<sup>2</sup> Figura 2. El diseño del pabellón para la Elephant House se ejecutó con diferentes herramientas de diseño computacional: la forma matemática del toroide definió la lógica estructural y de los cerramientos, y fue generada con sistemas paramétricos de personalización. El desempeño ambiental del proyecto fue integrado al diseño con la ayuda de patrones paramétricos de distribución de paneles y patrones semialeatorios de vidrio opalizado (*fritting*).

la especificación del software (Peters y Peters, 2013). Otro software paramétrico, Grasshopper, se dio a conocer en 2007. Mientras Grasshopper tiene una interfaz de programación gráfica similar a GenerativeComponents, carece de la capacidad para trabajar simultáneamente en una representación de código basado en texto. Con la introducción de estos paquetes de software, los arquitectos son ahora capaces de utilizar métodos de diseño paramétrico en sus propios sistemas CAD. Una encuesta reciente de ponencias en conferencias de arquitectura demuestra la creciente popularidad de herramientas paramétricas en la práctica arquitectónica (Hudson, 2008) (Naboni, 2014).

#### ► MÉTODOS GENERATIVOS Y DISEÑO COMPUTACIONAL

Robin Evans afirma que

el dibujo en la arquitectura no se realiza después de la concepción, sino previo a la construcción; no es producido tanto por la reflexión de la realidad del dibujo, sino como producto de la realidad que resultará fuera del dibujo. (Evans, 1997)

Evans señaló que el dibujo tiene límites, y si estos son alcanzados, luego otra forma de trabajo debe ser instituida. El diseño generativo implica la creación de un algoritmo o un conjunto de reglas y parámetros que describen las relaciones, a partir de un concepto de diseño. El algoritmo se puede utilizar para generar automáticamente una iteración de diseño o una serie de iteraciones, a menudo por medio de un programa de computador. El diseño generado

puede ser evaluado y se pueden realizar cambios en los parámetros o reglas algorítmicas a medida que el ciclo de diseño continúa. Mientras los procesos tradicionales no implican la generación automática de alternativas a partir del esquema de diseño, los procesos de diseño generativo y paramétrico significan una evolución en el algoritmo de generación —se realizan cambios a la gama de soluciones potenciales a través de modificaciones en el modelo computacional—. [Ver Figura 3]<sup>3</sup>

Los impactos de los procesos de diseño generativo son importantes, ya que permiten la generación automática de muchas opciones, en lugar de crear laboriosamente modelos una y otra vez. El diseñador genera un sistema en lugar de una instancia. Todas las posibles opciones de diseño definidas por el sistema generativo definen la solución del espacio. Mario Carpo escribe que

El *Objectile* de Gilles Deleuze y Bernard Cache clasifica hasta hoy en día entre las definiciones más apropiadas para el nuevo objeto técnico en la era digital: el *Objectile* no es un objeto, sino un algoritmo —una función paramétrica que puede determinar una variedad infinita de objetos, todos diferentes (uno para cada conjunto de parámetros), sin embargo, todos similares (ya que la función subyacente

<sup>3</sup> Figura 3. Un programa computacional generó un modelo tridimensional digital de una estructura de marcos de 1500 metros de largo. El uso de esta técnica permitió que el diseño de esta estructura compleja fuese sencillo e intuitivo. El código de diseño fue modificado a medida que se avanzaba.

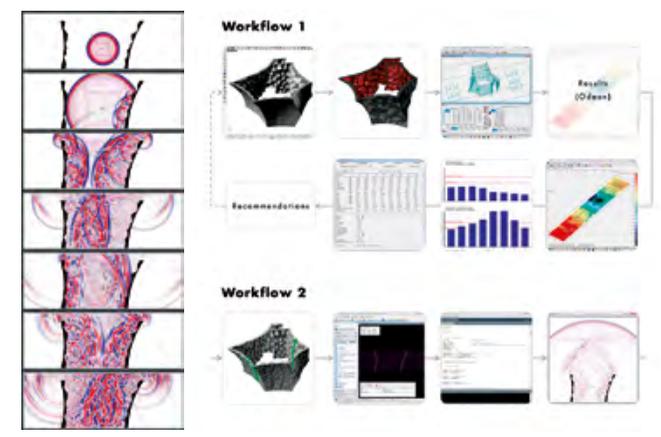
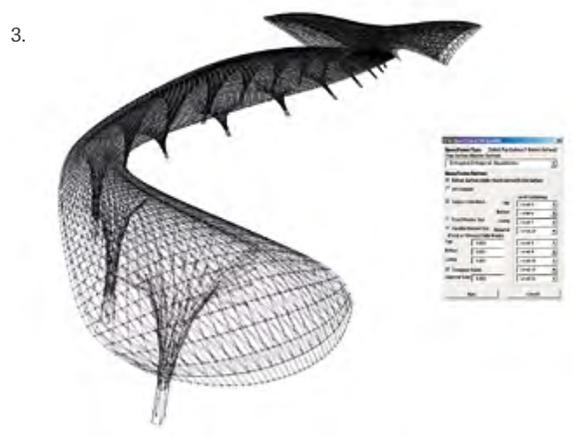
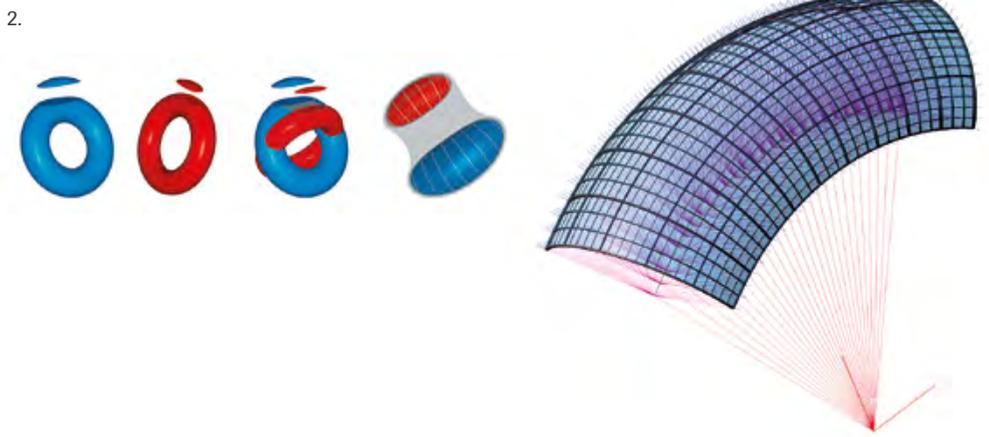
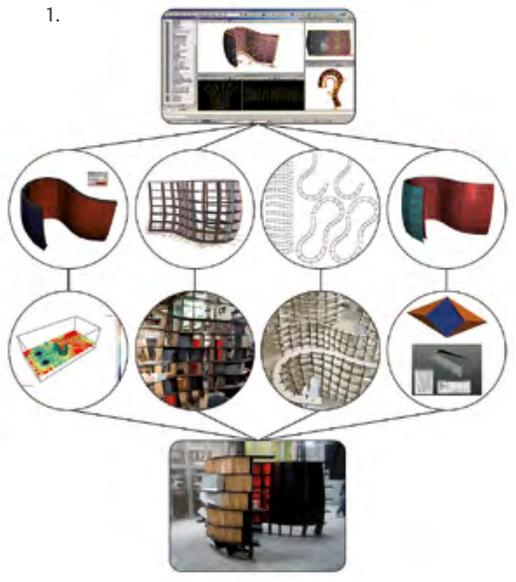


Figura 1. Proyecto de Manufactura de Superficies Acústicas Paramétricas / Fuente: Manufacturing Parametric Acoustic Surfaces, SmartGeometry. (2010). Barcelona.]

Figura 2. Diseño del pabellón para la Elephant House / Fuente: New Elephant House, Copenhagen, Dinamarca. Foster + Partners. (2008).]

Figura 3. Programa computacional / Fuente: La Gran curvatura, Kowloon Occidental, Hong Kong. Foster + Partners. (2003).]

Figura 4. FabPod / Fuente: FabPod, Melbourne, Australia. Burry, M., Burry, J., Williams, N., Davis, D., Peters, B. y Peña de León, A. (2013). Fotografía de John Gollings.]

Figura 5. Un único programa computacional generó el modelo CAD tridimensional para arquitectura, ingeniería y fabricación. / Fuente: Cerramiento del patio del Smithsonian, Washington D. C., EE. UU. Foster + Partners. (2008).]

es la misma para todos)—. (Carpo, 2011)

Robert Aish llama a esto la “era de la computación de diseño” donde hay una distinción entre la descripción generativa de un edificio y el modelo generado (Aish, 2013). No sólo se pueden explorar muchas opciones, sino que la creación de algoritmos y la generación de instancias pueden producir resultados inesperados. Kostas Terzidis sostiene que “las formas algorítmicas son manifestaciones de procesos inductivos que describen, extienden y a menudo superan el intelecto del diseñador” (Terzidis, 2003).

#### ► SIMULACIÓN

El entorno construido es sumamente complejo, en él participan muchos sistemas interdependientes y, en este sentido, hay una necesidad de digitalizar el mundo circundante en modelos matemáticos que permitan que se lleven a cabo simulaciones para representar mejor y analizar estas relaciones y optimizarlas hacia ciertos objetivos. Los arquitectos están experimentando cada vez más con la computación para simular el comportamiento del edificio y su entorno (Kolarevic, 2005). Esto les está permitiendo incorporar el análisis del desempeño y el conocimiento sobre el material, la tectónica y los parámetros de la maquinaria de producción en sus dibujos de diseño. Las nuevas herramientas digitales personalizadas permiten la retroalimentación sobre el desempeño en las distintas etapas de un proyecto arquitectónico, creando nuevas oportunidades de diseño. Utilizando estas herramientas, el desempeño estructural,

material o medioambiental puede convertirse en un parámetro fundamental en la creación de la forma arquitectónica. El desarrollo de herramientas de simulación computacional puede crear diseños más sensatos, al permitir a los arquitectos explorar diversas opciones y analizar las decisiones arquitectónicas durante el proceso. [Ver Figura 4]<sup>4</sup>

En los últimos años, una ecología emergente de herramientas y técnicas de simulación ha comenzado a transformar los métodos de diseño en la arquitectura. Actualmente, la gran mayoría de los proyectos están diseñados en entornos virtuales; y, más allá de la arquitectura, en casi todas las ciencias, estamos viendo el surgimiento de simulaciones informáticas a medida que más y más experimentos se llevan a cabo *in silico* (Winsberg, 2010). La simulación es la forma en que los diseños pueden ser probados para su futuro desempeño. En la arquitectura, “mientras las simulaciones antes correspondían a modos de presentación, ahora conectan la arquitectura a las ciencias naturales y a instrumentos metodológicos y estratégicos, convirtiéndose en herramientas de conocimiento” (Gleiniger y

<sup>4</sup> Figura 4. FabPod es un espacio de encuentro semicerrado, situado dentro de un ambiente de trabajo de planta libre. El proyecto fue construido con base en investigaciones previas concentradas en principios de diseño, el desempeño acústico y los métodos de fabricación de la superficie de la geometría hiperboloide. Cuatro líneas de trabajo de diseño fueron creadas: dos de ellas investigaron el desempeño acústico del espacio y utilizaron programas preexistentes de simulación acústica. Las otras dos estudiaron el desempeño acústico de la superficie y usaron códigos de programación personalizados para calcular y visualizar la dispersión del sonido.

Vrachliotis, 2008). Las simulaciones permite a la arquitectura “prever las consecuencias” de sus innovaciones.

#### ► DISEÑANDO HERRAMIENTAS DE DISEÑO

Más allá de la modelización paramétrica, algunos arquitectos empiezan a entrar en la “caja negra” de los sistemas CAD y a escribir su propio software, y una de las maneras de hacerlo es usando lenguajes de *scripting*. Muchos sistemas CAD tienen entornos de *scripting* desde hace mucho tiempo, y éstos han sido utilizados por arquitectos especialistas para diseñar (Katz, Kriemeyer y Schwinn, 2013). Sin embargo, desde principios de la década de 2000, estos sistemas han experimentado un aumento en la velocidad y facilidad de uso, hasta el punto de que muchos arquitectos están comenzando a tomar ventaja de ellos (Davis y Peters, 2013). Hay una creciente comunidad de diseñadores interesados en las técnicas de *scripting* y su aplicación en la práctica; una *cultura de scripting* se está empezando a formar (Burry, 2011). [Ver Figura 5]<sup>5</sup>

Los diseñadores computacionales construyen modelos en 3D y crean herramientas de diseño, pero su conocimiento va más allá de estas tareas —generan y exploran espacios y conceptos arquitectónicos a través de la

<sup>5</sup> Figura 5. Un único programa computacional generó el modelo CAD tridimensional para arquitectura, ingeniería y fabricación. Las opciones de diseño fueron exploradas a través de modificaciones hechas al código de programación, lo cual fue apodado como “diseño a través del código”.

escritura y la modificación de algoritmos—. La fabricación de herramientas a menudo se lleva a cabo dentro del proceso de diseño y se convierte en parte integral de éste. Para que las técnicas computacionales sean útiles, deben ser flexibles, deben adaptarse a los parámetros cambiantes del diseño arquitectónico. El entorno del diseño, del cual el arquitecto es en parte autor, debe ser flexible y tener la capacidad de adaptarse a los cambios (Davis y Peters, 2013). El pensamiento algorítmico implica asumir un rol interpretativo para comprender los resultados del código generador, saber cómo modificarlo para explorar nuevas opciones y especular sobre otros potenciales de diseño. Estamos pasando de una era en la que los arquitectos utilizan software a una donde los arquitectos crean software (Burry, 2011). Estos entornos de diseño en continua evolución son diferentes de cualquier herramienta de diseño estático, y diferentes de cualquier entorno de diseño que los arquitectos hayan encontrado previamente.

#### ► EJERCICIO DE LA ARQUITECTURA FUTURA

La computación está redefiniendo la práctica de la arquitectura. Esta puede amplificar la capacidad de un diseñador para considerar simultáneamente múltiples opciones, conectar a grandes bases de datos, analizar diseños en relación con diversos parámetros de desempeño, crear sus propias herramientas de diseño, y, a través de la fabricación digital y montaje robótico, participar en los procesos de construcción de edificios. La estructura de los estudios de arquitectura

está cambiando en respuesta al trabajo de diseñadores computacionales. La estructura de las firmas de arquitectos se modifica en respuesta a la labor de los diseñadores computacionales; hay cuatro maneras en que estos diseñadores están organizados: el grupo de especialistas internos, la consultora externa especializada, la práctica integrada y computacionalmente consciente y el desarrollador/diseñador solitario de software (Peters, 2013). Fortalecidos por los avances en las interfaces de secuencias de comandos y el conocimiento de la programación de computadoras, estos diseñadores están creando activamente sus propios softwares de diseño. Si bien estas pequeñas oficinas aún no han construido muchos proyectos, son, por su tamaño, muy relevantes para la práctica de arquitectura como un todo.

Los arquitectos pueden ser más que sólo creadores de modelos 3D complejos o desarrolladores de herramientas digitales —pueden destilar la lógica subyacente de la arquitectura y crear nuevos ambientes en los cuales explorar los diseños y simular su desempeño, tanto físico como experiencial—. Los límites disciplinarios y las habilidades están evolucionando rápidamente con la tecnología y las necesidades del proyecto y la práctica en particular. Si bien hay muchas formas en las que los diseñadores computacionales se integran con la práctica, está claro que las herramientas digitales pueden permitir nuevas formas de pensar. A través de la computación, el entorno del diseño arquitectónico digital tiene la capacidad de construir modelos de edificios complejos y la habilidad de proporcionar

retroalimentación sobre el desempeño de estos. De forma similar en la que la pluma o el lápiz pueden utilizarse para dibujar detalles o crear bocetos conceptuales de un edificio, las herramientas computacionales pueden ser utilizadas para aumentar la eficiencia y permitir una mejor comunicación, así como para crear bocetos conceptuales de conceptos algorítmicos. Con la creciente capacidad de simulación, el computador permite a los arquitectos predecir, modelar y simular el encuentro entre la arquitectura y el público, usando métodos más precisos y sofisticados. De esta manera, la computación hace posible no sólo la simulación y la comunicación de los aspectos de construcción y desempeño de un edificio, sino la experiencia y la creación de significado. La simulación y computación permiten a los arquitectos diseñar un futuro mejor.



#### REFERENCIAS

- » Aish, R. (2013). First build your tools. En Peters, B. y Peters, T. (Eds.), *Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design* (pp. 36-49). Chichester, UK: Wiley.
- » Burry, M. (2011). *Scripting Cultures: Architectural Design and Programming*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- » Carpo, M. (2011). *The Alphabet and the Algorithm*. Cambridge, MA: MIT Press, 2011.
- » Clark, D. (2013). *What Colour Is Your Building?* London: RIBA Publishing.
- » Davis, D. y Peters, B. (marzo-abril, 2013). Design ecosystems: customising the architectural design environment with software plug-ins. *Architectural Design (AD)*, 222, 124-31.

- » Evans, R. (1997). Translations from drawing to building. En *Translations from Drawing to Building and Other Essays*. Aa Documents. London: Architecture Association.
- » Friedman, K. (2003). Theory construction in design research: Criteria: approaches, and methods. *Design Studies*, 24(6), 507-22.
- » Gleiniger, A. y Vrachliotis, G. (Eds.). (2008). *Simulation: Presentation Technique and Cognitive Method*. Basel: Birkhauser.
- » Glymph, J. (2003). Evolution of the digital design process. En Kolarevic, B. (Ed.), *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing* (pp. 102-120). New York: Spon Press.
- » Hudson, R. 2008. Frameworks for practical parametric design in architecture. *Architecture in Computro, 26th eCAADe Conference Proceedings*, Amberes, Bélgica.
- » Katz, N., Krietmeyer, B. y Schwinn, T. 2013. Interacting with the model. En Peters, B. y Peters, T. (Eds.), *Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design* (pp. 80-91). Chichester, UK: Wiley.
- » Kilian, A. (2006). Design exploration through bidirectional modeling of constraints (Tesis doctoral). Resuperada de <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/33803>.
- » Kolarevic, B. y Malkawi, A. M. (Eds.). (2005). *Performative Architecture: Beyond Instrumentality*. London: Spon Press.
- » Lally, S. (octubre, 2012). Architecture of an active context. En *ACADIA 12: Synthetic Digital Ecologies*. Actas de la 32 Conferencia anual de la Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), San Francisco.
- » Malkawi, A. M. (2005). Performance simulation: research and tools. En Kolarevic, B. y Malkawi, A. M. (Eds.), *Performative Architecture: Beyond Instrumentality* (p. 85). London: Spon Press.
- » Maver, T. (1980). Appraisal in design. *Design Studies*, 1(3), 160-65.
- » Mueller, V. y Smith, M. (2013). Generative components and smartgeometry: situated software development. En Peters, B. y Peters, T. (Eds.), *Inside Smartgeometry:*

*Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design* (pp. 142-53). Chichester, UK: Wiley.

- » Naboni, E. (2014). Sustainable design teams: Methods and tools in international practice. *Detail Green*, 1, 68-73.
- » Peters, B. (octubre, 2007). The Smithsonian courtyard enclosure: A case study of digital design processes. *Expanding Bodies: Art, Cities, Environment*, Actas de la 27 Conferencia anual de la Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), Halifax, Nueva Escocia.
- » Peters, B. (2013). Computation works: The building of algorithmic thought. *Architectural Design (AD)*, 83(2), 8-15.
- » Peters, B. (septiembre, 2015). Integrating acoustic simulation in architectural design workflows: The FabPod meeting room prototype. *Simulation: Transactions of The Society for Modeling and Simulation International*.
- » Peters, B. y Peters, T. (Eds.). (2013). *Inside Smartgeometry: Expanding the Possibilities of Computational Design*. Chichester, UK: Wiley.
- » Peters, B. y Terri P. (en prensa). *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- » Simon, H. (1996). *The Sciences of the Artificial*. 3.ª edición. Cambridge, MA: MIT Press.
- » Terzidis, K. (2003). *Expressive Form: A Conceptual Approach to Computational Design*. New York: Spon Press.
- » Winsberg, E. (2010). *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago: University of Chicago Press.
- » Woodbury, R. (2010). *Elements of Parametric Design*. New York: Routledge.
- » Woodbury, R., Aish, R. y Kilian, A. (Octubre, 2007). Some patterns for parametric modeling. *Expanding Bodies: Art, Cities, Environment*, Actas de la 27 Conferencia anual de la Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), Halifax, Nueva Escocia.

Brady Peters es Profesor asistente en la Facultad de Arquitectura, Paisaje y Diseño en la Universidad de Toronto donde imparte cursos en Diseño, Computación y Comunicación Visual en programas de pregrado. Brady es director de Smartgeometry, una organización internacional de profesionales y académicos que exploran la vanguardia de tecnología y arquitectura. Profesionalmente, Brady trabajó previamente en Foster + Partners donde fue miembro asociado con un grupo especializado en modelado.

# PERSONALIZACIÓN AVANZADA PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y LA CONSTRUCCIÓN:

PANORAMA Y EXPERIMENTACIONES

**Ingrid Paoletti**  
Profesora asistente  
en el Politécnico de Milán  
<http://www.act-lab.net/>  
[ingrid.paoletti@polimi.it](mailto:ingrid.paoletti@polimi.it)

La personalización avanzada está ganando relevancia, tanto en la fase de concepción y desarrollo del diseño preliminar, como en las de producción y construcción. Ésta permite la introducción de soluciones arquitectónicas altamente específicas, relacionadas con el uso de maquinaria flexible de control digital y la creciente capacidad industrial para cambiar los patrones de producción.

Muchos sistemas de construcción aprovechan estos métodos innovadores y los implementan a varias escalas y en diferentes capas funcionales: de la estructura al armazón, de la envolvente a los sistemas de climatización. Por otra parte, la personalización avanzada se puede usar para inspirar soluciones técnicas que requieran características específicas y personalizadas de rendimiento, así como para influenciar edificios flexibles y de fácil mantenimiento.

En la arquitectura y la construcción, el concepto de personalización avanzada implica un doble significado. Por un lado, es la expresión de una industria de la construcción flexible, que busca mejorar la calidad y la originalidad a través del uso de herramientas digitales; que es capaz de integrar la investigación

en tecnologías emergentes, principalmente desarrolladas fuera del contexto industrial, por investigadores y profesionales experimentales. Por otro lado, aborda la necesidad de tomar decisiones de construcción ambiciosas en una etapa temprana de la fase de diseño, antes de las operaciones en sitio, lo que garantiza una gestión de la construcción más sólida. En otras palabras, la complejidad de muchos proyectos contemporáneos ofrece la oportunidad de reconsiderar la secuencia idea-proyecto-lugar, para ir hacia un modelo integrado, en el que las implicaciones tecnológicas se conviertan en impulsores tempranos en el proceso que va del diseño a la construcción.

En los últimos años, la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AIC) se han ido globalizando, en respuesta a una fuerte competitividad internacional y a las necesidades de la producción industrial, que debe responder a los últimos requerimientos de los arquitectos en términos de precisión, flexibilidad e innovación.

Como resultado de esto, se ha dado una difusión exponencial de las técnicas de fabricación de alto nivel para producir componentes de construcción con un mejor rendimiento.

Esta tendencia es la expresión de un “impulso tecnológico”, es decir, la inducción de nuevos productos y procesos de investigación en el diseño, por una industria que busca expandirse a nuevos mercados. Al mismo tiempo, los arquitectos contemporáneos aplican nuevas alternativas tecnológicas, para satisfacer las demandas del mercado y generar intervenciones rentables con el empuje tecnológico. En realidad, es difícil referirse exclusivamente a uno u otro modelo de innovación, sino más bien a una dinámica combinada: la génesis de una tecnología se encuentra en una posición intermedia entre el requerimiento de satisfacer una necesidad y la disponibilidad de soluciones para dicha necesidad (Paoletti, 2009).

La personalización avanzada en el diseño arquitectónico es impulsada por el uso de herramientas computacionales y por la integración entre los campos de la fabricación y el diseño. Las respuestas tecnológicas innovadoras representan cada vez más un desafío para el uso de las opciones tradicionales en el sector de la construcción.

Las nuevas posibilidades, apoyadas por los avances digitales de la última década, se apartan del desarrollo de una

investigación interdisciplinaria que reemplaza la típica división entre el producto y el proceso.

Frente a las posibilidades de innovación que ofrece el *know-how* derivado de otros campos de la industria, el problema no es sólo seleccionar la tecnología apropiada para el proyecto, sino definir condiciones beneficiosas para permitir los mecanismos de transferencia tecnológica. Ejemplos de esto se pueden encontrar en diferentes sectores: desde materiales (conchas, polímeros, fibras), a los productos semielaborados (perfiles, accesorios para la construcción y sistemas de pegado), a los componentes (redes metálicas y cintas adhesivas) y a las tecnologías (led y sistemas ópticos). Todos estos elementos pueden ser llamados “omnipresentes”, lo que significa que se crean en sectores de alta tecnología, pero luego se extienden transversalmente en todos los sectores, incluyendo a los tradicionales, generando cambios importantes (Utterback, 1996). Al final, la posibilidad de definir una serie de soluciones paramétricas, desde las primeras etapas del diseño, puede fomentar la innovación mediante el apoyo a la posibilidad de interactuar directamente con la cadena de producción, cambiar parámetros y controlar

directamente la construcción de una solución técnica, concebida como un proceso de prefabricación inteligente.

Teniendo en cuenta las herramientas avanzadas y las últimas tecnologías de fabricación, en la actualidad los proyectos arquitectónicos deben ser desarrollados directamente en tres dimensiones, y luego traducidos a geometrías materializadas y físicas, con niveles de detalle y control nunca antes vistos. Además, con el empleo de las tecnologías de impresión 3D y las herramientas digitales avanzadas, ya no hay un costo asociado al nivel de complejidad, puesto que la impresión de un modelo muy detallado cuesta lo mismo que imprimir un cubo primitivo.

Tampoco lo hay para la personalización: la fabricación de elementos altamente específicos no cuesta más que la impresión de una serie estandarizada. Así, la complejidad ornamental y el expresionismo formal ahora se legitiman.

Conectar el diseño digital con la fabricación digital permite al diseñador entender las características del material y de la fabricación con antelación, a través de experimentos directos, y eventualmente tenerlas en cuenta de una manera generativa en el desarrollo del proyecto. El aumento de la difusión de las máquinas modernas y el creciente interés de los arquitectos por experimentar con ellas han esbozado la sinergia entre los procesos digitales y materiales en el diseño y la construcción, como un concepto de importancia cada vez mayor. Este nuevo paradigma se ha definido como materialidad digital, desde la

interconectividad de los datos y el material, la programación y la construcción. De este modo, el material no sólo se considera en términos de propiedades físicas o estéticas para enriquecer nuestro diseño conceptual, sino que es explorado a fondo y moldeado por la información digital (Gramazio y Kohler, 2008).

Es interesante entonces cuestionar el posible impacto de este enfoque basado en los materiales en la arquitectura, en un rango de tiempo medio. La principal contribución de los trabajos empíricos que investigan nuevos sistemas arquitectónicos probablemente está aún por encontrarse en el impulso significativo que ofrecen a la evolución de la disciplina del diseño arquitectónico y la construcción.

Los experimentos facilitan el desarrollo de diferentes prototipos de construcción, técnicas y procesos innovadores de vanguardia a un ritmo más rápido, e incluso si todavía están en una fase de investigación, su impacto cultural es cada vez mayor debido a su eficacia. Éste es probablemente el factor de mayor importancia para la arquitectura: la personalización avanzada nos permite diseñar y construir conceptos y productos innovadores de una manera directa, superando la resistencia típica del sector en general hacia la innovación, a menudo atribuida a los intereses de inversores y contratistas por mantener el *status quo*, evitando riesgos y aferrándose a sus intereses económicos.

El apoyo de estos trabajos ya es notable hoy, en el creciente número de edificios que adoptan soluciones innovadoras, y

es realista plantear la hipótesis de una frecuencia más alta también, en las especificaciones de los contratistas sobre materiales innovadores y componentes personalizados a un costo asequible, debido a la evolución de la industria en la línea de la Industria 4.0.

#### ► ACTLAB EN EL POLITÉCNICO DE MILÁN, DEPARTAMENTO ABC

La principal preocupación del grupo de investigación ActLab, del Departamento de Arquitectura, Ambiente Construido e Ingeniería de la Construcción (ABC) del Politécnico de Milán, es el desarrollo de soluciones innovadoras para la arquitectura y la construcción. En el interior del departamento, que se basa en la planificación, diseño, producción y gestión de la arquitectura y la construcción civil, ActLab está desarrollando sistemas de desempeño y componentes, estrategias de fabricación en masa personalizadas y nuevos procesos de diseño.

Los intereses del grupo se centran en formas contemporáneas de la utilización de diferentes herramientas aplicadas al diseño, y en la fabricación y gestión de tecnologías innovadoras y de vanguardia. En este sentido, hay tres líneas de investigación que se cruzan entre sí. La primera se enfoca en herramientas de computación avanzadas, que investigan los conceptos contemporáneos para desarrollar un diseño innovador en la arquitectura y la construcción civil.

Una investigación detallada de los principios de materialización y crecimiento natural se lleva a cabo, con el fin de establecer

la relación entre material, estructura y función. El objetivo es proponer una comprensión algorítmica de los procesos, y ver cómo se pueden incluir en el flujo del trabajo computacional. Un ejemplo de esta primera línea de enfoque se centra específicamente en el hueso humano, ya que éste representa una referencia importante de un sistema arquitectónico ligero ya desarrollado; las estructuras internas de los huesos están optimizadas para responder a las condiciones cambiantes de los bordes de carga, mientras que las estructuras exteriores mantienen la misma tipología general del hueso. Este comportamiento multiescalar se utiliza paralelamente con un sistema material de múltiples escalas, para orientar el diseño del componente arquitectónico. [Ver Figura 1]

La segunda línea de investigación tiene como interés principal el material y su comportamiento. Respeta el diseño basado en la materialidad y produce formas innovadoras de crear un sistema, investigando sus potenciales y, en particular, centrándose en la estrecha relación que hay entre las propiedades del material y el montaje. Un ejemplo de este enfoque es el *Recinto entrelazado*, una instalación experimental desarrollada en 2014 y la síntesis de una investigación sobre las propiedades emergentes de un sistema material de tejidos en arquitectura, que viene de la combinación de técnicas avanzadas de diseño y la elaboración digital.

El prototipo final es un sistema de cerramiento a gran escala con una estructura autoportante, basada en la interacción de la fricción entre los elementos

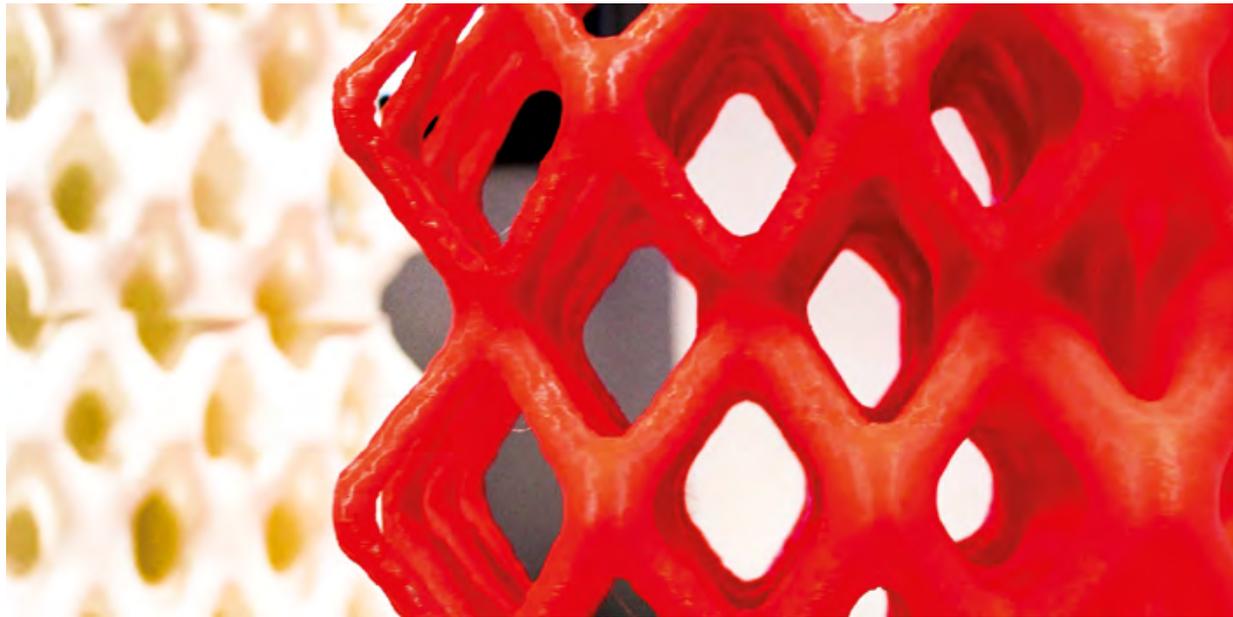


Figura 1. Proceso de impresión 3D de pieza arquitectónica. /Fuente: Paoletti I. (2016).

Figura 2. Recinto entrelazado, diseño enfocado hacia la materialidad. / Fuente: Paoletti, (2016).

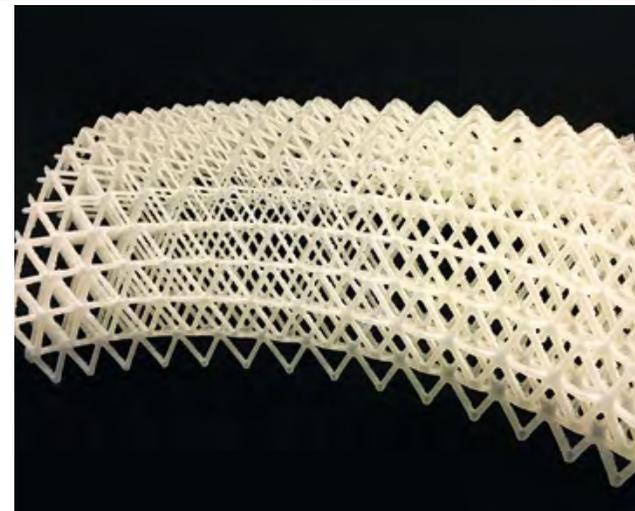
Figura 3. Pieza impresa en 3D, tectónica aditiva. / Fuente: Paoletti, I. (2016).

Figura 4. Pieza impresa en 3D./ Fuente, Paoletti, I. (2016).

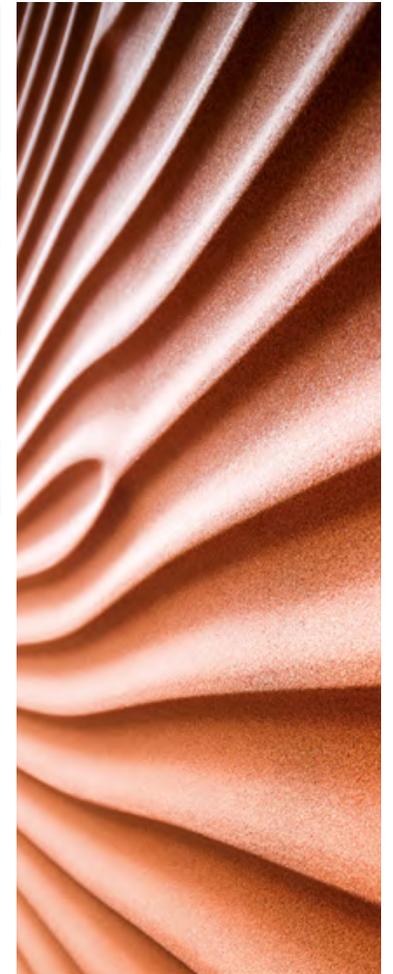
Figura 5. Componente de la fachada del Pabellón de los Emiratos Árabes Unidos, Expo de Milán. / Fuente: Foster + Partners, (2015).



4.



5.



verticales combados de madera contrachapada deformada y un doble conjunto de hilos de mimbre. Con la implementación de algoritmos de diseño a la medida, la flexión de los hilos de mimbre tejidos se ha incrustado computacionalmente y, posteriormente, se ajustaron por parámetros extrínsecos para modular las características geométricas generales y el grado de índice de proyección. [Ver Figura 2]

La tercera línea de investigación busca tecnologías de vanguardia en la construcción, en la gestión de ésta y diferentes formas de resolver problemas, facilitar el trabajo y disminuir los costos. El objetivo principal es hallar un proceso de producción y construcción innovador, en relación con la industria manufacturera. En el pabellón UEA, diseñado por Foster and Partners y construido en la Expo 2015, la introducción de procesos Building Information Modeling (BIM) y el diseño paramétrico con técnicas de fabricación avanzadas formaron la base de un enfoque coordinado y colaborativo para todo el proyecto. Este método permite que la información fluya libremente entre arquitectos, ingenieros, especialistas técnicos, clientes y operadores de diferentes culturas. De esa forma se promueven relaciones de trabajo productivas y abiertas durante todo el proceso de construcción.

El desarrollo de un flujo de trabajo BIM integral, consolidando los procesos de diseño a través de la construcción y el montaje de los componentes de la fachada geoméricamente compleja, ha ayudado a los equipos participantes a reducir

los conflictos de diseño, y a lograr una colaboración fluida a través de la participación activa en el proceso. Por otra parte, se produjeron configuraciones mejores y más eficientes sin información redundante o innecesaria; esto ayudó a que pudieran ceñirse a los tiempos exigentes de la Expo.

[Ver Figuras 3, 4 y 5]

En conclusión, el grupo de investigación ActLab ha estado trabajando en proyectos a diferentes escalas, con el objetivo de resolver problemas de la construcción arquitectónica con soluciones innovadoras, y proponer conceptos emergentes aplicados en las etapas tempranas del diseño.



## REFERENCIAS

- » Anderson, C. (enero 2010). In the next industrial revolution, atoms are the new bits. *Wired*. Recuperado de [http://www.wired.com/2010/01/ff\\_newrevolution/all/1](http://www.wired.com/2010/01/ff_newrevolution/all/1)
- » Davis, S. (1987). *Future Perfect*. Reading, MA: Addison Wesley.
- » Gershenfeld, N. (2013). *Manufacturing's future: effects of technology on industry* [video conferencia en línea]. Disponible en [http://fora.tv/2013/02/07/Manufacturings\\_Future\\_Effects\\_of\\_Technology\\_on\\_Industry](http://fora.tv/2013/02/07/Manufacturings_Future_Effects_of_Technology_on_Industry). Accessed 5 May 2014
- » Gramazio, F. y Kohler, M. (2008). *Digital Materiality in Architecture*. Zurich: Lars Müller Publishers.
- » Gramazio, F., Kohler, M. y Willmann, J. (2014). *The Robotic Touch: How Robots Change Architecture*. Zurich: Park Books.
- » Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. New York: Spoon Press.
- » Oxman, R. (2012). Informed tectonics in material-based design. *Design Studies*, 33(5), 427-455.
- » Paoletti, I. (2009). *Innovative design and Construction Technologies: Building Complex Shapes and Beyond*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore.
- » Pine, J. (1992). *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*. Boston, MA: Harvard Business Review Press.
- » Sargent, J. F. Jr. (2014). The Obama administration's proposal to establish a national network for manufacturing innovation. *Congressional Research Service Report*. Disponible en <http://fas.org/sgp/crs/misc/R42625.pdf>
- » Utterback, J. (2006). *Design Inspired Innovation*. World Scientific Publishing Company.

Ingrid Paoletti es profesora asistente de Tecnología para la Construcción en el departamento ABC (Architecture, Built Environment and Construction) del Politecnico da Milán. Es miembro del comité científico del programa doctoral "Project and Technology for the Enhancement of Cultural Heritage", y además pertenece al comité técnico del Laboratorio de Información. Actualmente es coordinadora del Cluster de "Innovative technologies and construction industry".

# ARQUITECTURA ORIENTADA

POR EL DESEMPEÑO Y DISEÑO GENERADO POR DATOS

**Michael U. Hensel,**  
**Søren S. Sørensen**  
Profesores en la Escuela de Arquitectura y  
Diseño de Oslo. Miembros de OceanDRA  
<https://aho.no/en>  
<http://www.ocean-designresearch.net>  
[michaelu.hensel@aho.no](mailto:michaelu.hensel@aho.no) - [sss@aho.no](mailto:sss@aho.no)

Nuestra aproximación a la arquitectura se enfoca en la noción de desempeño basada en la teoría del Actor-Red, la cual atribuye capacidad de control a áreas y elementos no-humanos. Nosotros consideramos la correlación de cuatro dominios de control: 1) El medio físico local, 2) el medio biológico local y 3 y 4) la organización material y espacial compleja, que constituye la arquitectura y el ambiente construido, incluyendo también los aspectos culturales y tecnológicos que esto comprende en un contexto dado. Esta aproximación se basa en la incorporación de las condiciones locales como impulsores en la definición de la interacción de diferentes arquitecturas con su entorno, convirtiéndose por lo tanto en una determinante clave para la generación de diseños arquitectónicos. Nuestro objetivo es, entonces, buscar acercamientos a la cuestión de lo "local" en la arquitectura, que están fundamentalmente orientados al desempeño y dirigidos hacia arquitecturas insertadas localmente o arquitecturas no discretas; así como promover su agregación dentro de la trama urbana y su articulación a través de tecnologías locales específicas. Una meta adicional es transferir diseños especiales al dominio de las aplicaciones del día a día, a través de arquitecturas "informadas y no estándar", que comprenden soluciones arquitectónicas específicas, informadas desde el inicio del

proceso de diseño por sets de datos que pertenecen a las condiciones locales particulares y al lugar de una arquitectura dada. El Laboratorio de Diseño Computacional Avanzado (ACDL) y el Centro de Investigación de Arquitectura y Tectónica (RCAT), de la Escuela de Arquitectura y Diseño de Oslo (AHO), se desprende el grupo RCAT | ACDL, que busca una aproximación integradora hacia la arquitectura orientada por el desempeño y hecha posible por el diseño generado por datos. [\[Ver Figura 1\]](#)

Nuestra aproximación metodológica a la arquitectura orientada por el desempeño integra procesos recursivos que combinan 1) generación de diseños y análisis basados en pautas de diseño locales específicas, con 2) entradas (*input*) de datos reales, específicos al contexto y 3) procesos orientados a la materialización con base en los recursos locales. Estos procesos están en un rango que va desde la escala de la organización material hasta la del tejido urbano. Los métodos computacionales analíticos, integrados y generativos facilitan la producción y visualización de condiciones matizadas, que se desarrollan en el tiempo y que tienen que ver con el sujeto humano, el medio ambiente y la organización espacial y material de las arquitecturas, como agentes activos en la producción y utilización del espacio heterogéneo.

Esto sirve para trascender el diseño de objetos arquitectónicos discretos y considerar un panorama más amplio de agencia y procesos, extendiendo la escala y el tiempo de consideración, más allá de la materialización del diseño propuesto. A nivel metodológico, esto implica una matriz operacional de métodos integrados generados por datos, con varios ciclos de retroalimentación. Esta matriz tiene varios puntos de entrada relativos a las intenciones de diseño, los procesos involucrados y los dominios de agencia; así como los requerimientos particulares y los aspectos relacionados con la escala. A continuación, mostraremos algunos ejemplos de trabajo que demuestran los conceptos antes descritos.

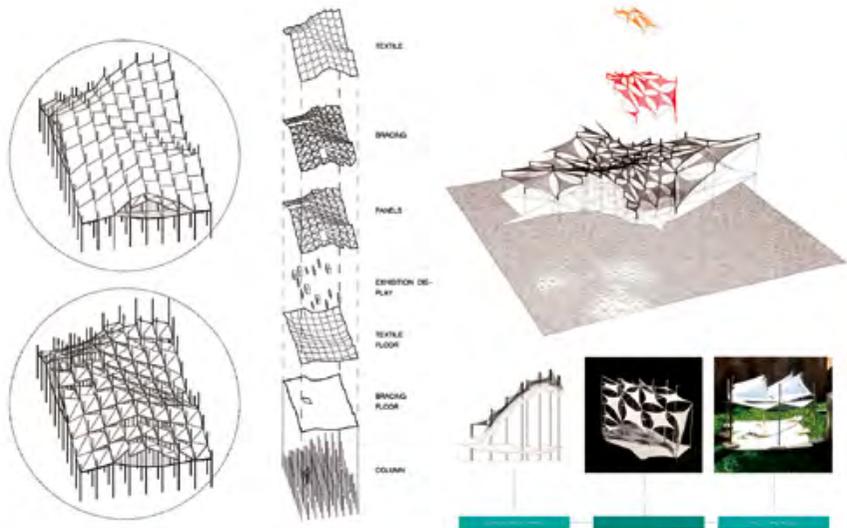
## ► ARQUITECTURAS EMBEBIDAS

Una tarea clave de RCAT | ACDL consiste en insertar fuertemente las arquitecturas en su lugar específico, medio o paisaje, más de lo que es habitual. Esto comprende dos líneas de investigación en diseño: 1) arquitecturas que se localizan entre las posiciones del prototipo universal y la aproximación única, hechas a la medida de un sitio particular, involucrando sistemas de diseño que pueden ser creados específicamente para diferentes sitios dentro de un rango de condiciones dadas;

y 2) agrupaciones de baja altura y alta densidad de dichas arquitecturas, que están fuertemente integradas con el terreno, el régimen hidrológico, las condiciones ambientales, etc.

Un ejemplo de esto es el desarrollo de un sistema de diseño a ser implementado en dos lugares, con el fin de generar una alternativa al prototipo universal o al diseño único y especializado. En este caso, el estudio se enfocó en el tema de las envolventes múltiples. Uno de los equipos elaboró un sistema de diseño que consistió en un cerramiento climático, que constaba de una serie de materiales transparentes y una envolvente exterior hecha de membranas textiles, que modulaban el clima del espacio transicional entre las dos envolventes y del espacio interior. En cada caso, el sistema de diseño se organizó para cumplir con los requerimientos del programa, así como con las exigencias climáticas interiores asociadas a éste; en seguida fue elaborado más a fondo, con base en análisis computacionales y datos en tiempo real, alimentados de datos medidos en sitio, así como con datos recolectados de maquetas a escala colocadas en el lugar. Esto implicó la preparación y programación de estaciones de medida basadas en tecnología Arduino.

[\[Ver Figuras 2 a 6\]](#)



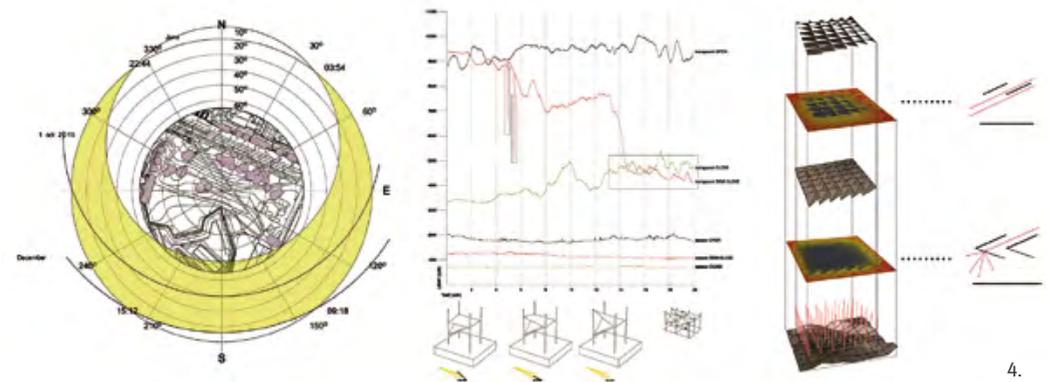
1.



2.



3.



4.

Figura 1. Arquitectura orientada hacia su desempeño. Oslo, Noruega. / Fuente: Hensel, M. (2015).

Figura 2. Desarrollo de un sistema de diseño para un prototipo construido con múltiples envolturas. Oslo, Noruega. / Fuente: Hensel, M. (2015).

Figura 3. Interacción del edificio de múltiples envolturas con las condiciones climatológicas, con la ayuda de Arduino. Oslo, Noruega. / Fuente: Hensel, M. (2015).

Figura 4. Análisis de data climatológica para edificio de múltiples envolturas. Oslo, Noruega. / Fuente: Hensel, M. (2015).

Otro proyecto que se encuentra relacionado con esta línea de investigación constituye un sistema de diseño para un asentamiento de baja altura y alta densidad, como alternativa al crecimiento urbano descontrolado o a los desarrollos en altura para Oslo en terrenos difíciles. La pendiente inclinada, el régimen hidrológico específico y las áreas sensibles de vegetación del sitio, así como los análisis de pendiente de los caminos, fueron parámetros de entrada clave para el modelo asociativo realizado para el proyecto. Así, las escorrentías sobre la superficie mantienen sus trayectorias existentes y los puntos de preservación de vegetación y edificios de conservación, al igual que las circulaciones peatonales de menor inclinación, son conservadas e implementadas. El tejido urbano denso se intercala con espacios y equipamientos comunales (tales como invernaderos comunales y oficinas compartidas, para evitar largos desplazamientos en vehículo particular), así como con equipamientos sociales y comerciales. Este proyecto da como resultado una gran superficie pública, que funciona como paisaje sobre el volumen construido y como espacio social de comunicación y circulación. Las unidades que constituyen este tejido pueden ser utilizadas individualmente o combinarse según sea necesario. Cada unidad fue evaluada a fondo en términos de accesibilidad, luz natural, exposición térmica y otros parámetros. Así, el diseño se desenvuelve de arriba hacia abajo, desde el patrón de asentamiento hasta las unidades individuales, y de abajo

hacia arriba, desde las unidades individuales hasta el patrón de asentamiento. Se utilizaron algoritmos evolutivos para crear diferentes organizaciones, las cuales fueron analizadas y evaluadas. Esto se realizó para la totalidad del asentamiento, y como una alternativa para porciones del desarrollo con el fin de poder acomodar los cambios en el tiempo. [Ver Figuras 7 y 8]

#### ► INCUBADORAS MULTIFUNCIONALES

Un segundo tema concierne a las arquitecturas multifuncionales que pueden servir como incubadoras para un entorno más amplio. Esto incluye diseños para puentes vivientes y edificios abiertos veinticuatro horas en Oslo, que consideran los cambios demográficos de la ciudad. Un ejemplo de esto es el diseño de un puente viviente que actúa como sitio clave en un esquema de mercado local ampliado, que cambia con el tiempo. Algunos precedentes clave de éste incluyen 1) las históricas casa-puente, híbridos orgánicos con sus columnas diagonales que soportan las casas en voladizo a los costados y 2) los puentes vivientes en las selvas tropicales del estado de Megalaya en la India. Estos son puentes vegetales que consisten en raíces de árboles que soportan un camino de piedras. La aproximación dentrítica a su estructura es una combinación de estos dos sistemas y requirió un acercamiento paramétrico. Karamba<sup>1</sup>, un programa de análisis de estructura desarrollado por Clemens Preisinger en colaboración con Bollinger-Grohmann-Schneider ZT Wien, fue

<sup>1</sup> <http://www.karamba3d.com/>

utilizado para el análisis estructural con numerosos parámetros que necesitaron ser optimizados de manera paralela.

Con el fin de lograr resultados óptimos para varios parámetros a la vez, se utilizó el optimizador multiobjetivo Octopus<sup>2</sup>. En términos de la visualización computacional, el proceso de diseño se benefició del uso extensivo y detallado de la realidad virtual. Las visualizaciones de realidad virtual se produjeron en diferentes etapas del diseño para examinar la experiencia espacial que provee el puente y la manera en que éste se relaciona con sus alrededores. En general, el flujo de trabajo de diseño incorporó el modelado y análisis asociativo computacional, junto con la impresión de modelos 3D generados por computador, y las visualizaciones de realidad virtual dentro de un ambiente de diseño rico visualmente.

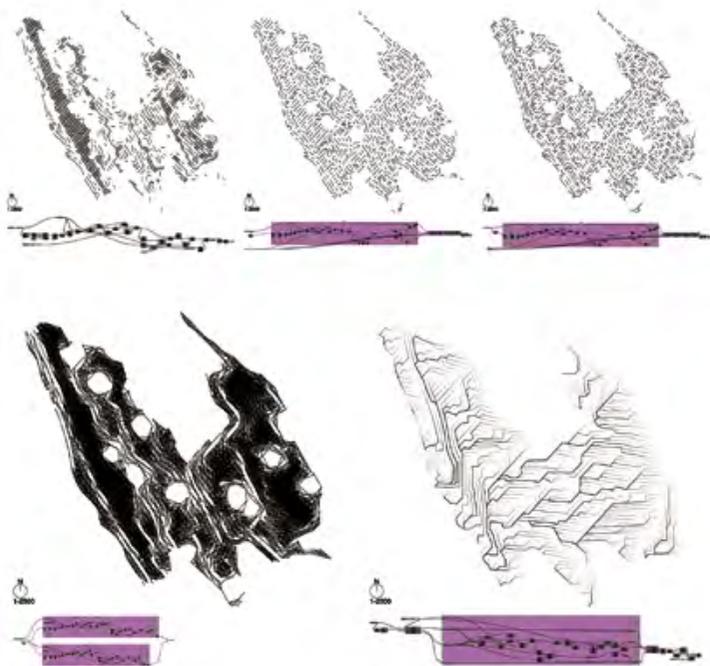
Otro ejemplo diferente que integra el modelado programático, espacial, estructural y ambiental es un diseño para un edificio multifuncional veinticuatro horas en la esquina noreste del Palace Park de Oslo, que se encuentra encima de una estación de trenes reutilizada. El proyecto se localiza en el borde del parque, en una vía de circulación muy concurrida, y la superficie en espiral continua del proyecto se incorpora en este flujo, mientras distribuye programas y actividades públicas a lo largo de su ruta ascendente. Las actividades se encuentran correlacionadas con aquellas de los alrededores y con la estrategia de envolvente múltiple del esquema. El

<sup>2</sup> <http://www.food4rhino.com/project/octopusE?ufh>

modelo asociativo integrado sirve para asegurar que el espacio interior abierto y sin subdivisiones esté generando los servicios adecuados para el público y las actividades colectivas a los que está dirigido, y presente una arquitectura que está impulsada por los cambios demográficos y las necesidades de diversificación de los ciudadanos de Oslo.

#### ► SISTEMAS ESPACIALES / ESTRUCTURALES NO-UNIFORMES

Los procesos de diseño orientados al desempeño de los materiales y a la materialización se pueden buscar mediante múltiples trayectorias. Para desarrollar sistemas especiales de construcción y diseño dentro de una serie de aplicaciones de uso cotidiano es necesario referirse a cuatro criterios relacionados entre sí, los cuales incluyen: 1) la relevancia del sistema frente a unos problemas de diseño dados, localizados dentro de aplicaciones cotidianas de arquitectura, 2) la viabilidad económica del sistema dentro de un rango de aplicación cotidiana aceptable, 3) un flujo de trabajo directo de un diseño dado, desde el diseño hasta la materialización, que permita a arquitectos e ingenieros ocuparse de dichos sistemas sin la necesidad de altos costos en expertos y 4) la demostración de una amplia gama de aplicaciones del sistema elegido. Esto requiere el desarrollo de un flujo de trabajo integrado que involucra tres pasos: 1) La fase inicial de diseño, 2) la integración de los diseños arquitectónicos y estructurales a través de la búsqueda de la forma y 3) el proceso de materialización.



5.



6.



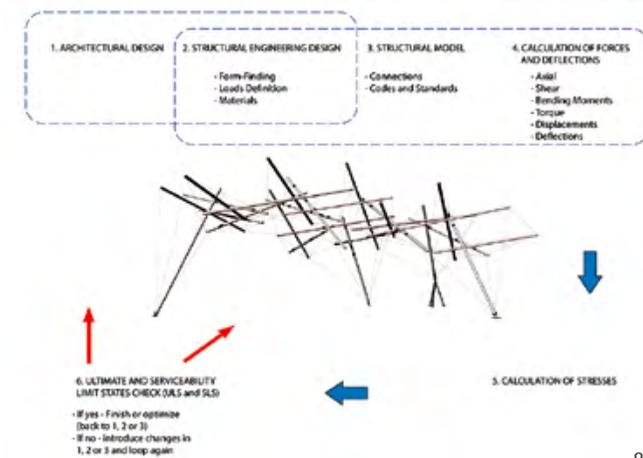
Figura 5. Sistema de diseño para edificaciones de baja altura y de alta densidad. Oslo, Noruega. /Fuente: Hensel, M. (2015).

Figura 6. Diagrama del modelo asociativo integrado de edificio multifuncional 24 horas Oslo, Noruega. / Fuente: Hensel, M. (2016).

Figura 7. Puente del Caos Ordenado. Oslo, Noruega. / Fuente: Hensel M. (2015).

Figura 8. Pabellón flotante a compresión. Nusfjor, Noruega. / Fuente: Hensel, M. (2013).

7.



8.

Un ejemplo de lo anterior es el proceso de diseño para un *tense-grity* asimétrico no uniforme.

Comenzamos nuestro diseño utilizando una combinación entre maquetas y modelado asociativo por computador en Grasshopper, para permitir la modificación del sistema a lo largo del proceso. El *plug-in* Karamba hizo posible el análisis estructural preliminar durante el diseño. La aproximación integrada de modelado computacional y análisis permitió la comprensión adecuada de la geometría y el comportamiento estructural. La visualización del ambiente físico, la simulación de las condiciones atmosféricas geolocalizadas y los elementos animados en un ambiente tridimensional de inmersión en realidad virtual durante las etapas iniciales permitieron la comprensión de geometrías complejas y composiciones espaciales, así como las interacciones entre arquitectura y medio ambiente.

En algunos tipos de estructuras o sistemas constructivos, la geometría no puede ser definida sin datos de su comportamiento estructural. En dichos casos, el proyecto necesita ser desarrollado en términos de arquitectura y diseño de ingeniería estructural al mismo tiempo. En todas las estructuras en las cuales la estabilidad depende de grandes deformaciones (textiles, cables, etc.) o en las que el diseñador necesita evitar fuerzas de flexión y trabajar en tensión y compresión únicamente (bóvedas, cables, arcos, tensegridad), se requiere de un proceso de búsqueda de la forma. Este proceso es dirigido por el comportamiento estructural

con la intención de definir una geometría específica como parte de un diseño arquitectónico y estructural integrado.

La búsqueda de la forma puede ser utilizada como una herramienta para predimensionar estructuras complejas que permitan un proceso informado para una optimización iterativa estándar. Aquí también utilizamos la visualización de realidad virtual con el propósito de evaluar y analizar los diseños.

Otra fase corresponde a la materialización: la fabricación de partes y su ensamblaje durante el proceso de construcción. Durante esta fase es importante llevar un record de las partes, en particular cuando en principio son todas diferentes, debido a que la solución del diseño no es simétrica, con el fin de poder localizarlas en el montaje general y localizarlas en su lugar durante el ensamblaje.

Para estos propósitos, utilizamos un modelo computacional y la visualización de realidad virtual que permita revisar todas las partes fabricadas con todos los elementos del ensamblaje. Posteriormente, el modelo de realidad virtual es transferido a una visualización de realidad aumentada, en la cual el modelo computacional puede ser visto en los contextos físicos, y todas las partes del ensamblaje pueden ser localizadas y colocadas con la precisión necesaria. Esto también puede incluir los valores de tensión requerida en los elementos, determinados durante la etapa de diseño estructural con los valores reales, medidos por sensores y transmitidos en la representación visual del modelo computacional.

En conclusión, puede afirmarse que, aunque la integración en un grupo de herramientas unificado puede parecer tentador, en nuestra opinión, deben buscarse diferentes modos y combinaciones de métodos integrados y herramientas. Esto debido a que estas aproximaciones elaboradas de acuerdo al propósito pueden realizarse a la medida de las condiciones y circunstancias locales; esto es lo que nuestra versión de diseño orientado al desempeño busca abordar. Las aproximaciones prescriptivas y finitas van en contra de la intención de derivar una arquitectura con alto desempeño intensamente local y específica.

Lo fundamental en esta etapa es reconocer los retos conceptuales asociados, así como los potenciales en relación con la definición de una arquitectura intensamente local, basada en grupos de datos locales específicos. Un reto surge de las condiciones que involucran interacciones complejas que se escalan en cadena, que exceden los umbrales críticos y cambian su carácter inherente y su resultado, y como consecuencia requieren modificaciones de aproximación.

Esto debería alertarnos sobre el hecho de que los resultados de los procesos de diseño generativo a partir de datos deben ser evaluados con cierto nivel de cuidado. Es de vital importancia mapear, definir e integrar objetivos metodológicos y conceptuales para un problema de diseño dado o un proyecto en sí mismo. Nuestro objetivo es inculcar esta capacidad para aprovechar el considerable potencial de los procesos

de diseño por computadora generados por datos. Con estos esfuerzos estamos un paso más cerca de lograr arquitecturas informadas no-estandarizadas.



Michael U. Hensel [Dipl. Ing. Grad Dip Des AA PhD Reading] es un arquitecto, investigador, escritor y educador. En el presente es profesor titular en Oslo School of Architecture and Design donde dirige el centro de investigación de Arquitectura y Tectónica [RCAT]. Ha sido autor y editor de varios libros y revistas, además de ser el fundador y director de OCEAN – Design Research Association.

# PATRONES DE FLUJO DE TRABAJO

PARA INGENIERÍA ESTRUCTURAL PARAMÉTRICA

**Clemens Preisinger**  
**Robert Vierlinger**  
Universidad de Artes Aplicadas de Viena  
**Moritz Heimrath**  
Bollinger + Grohmann Viena  
[www.karamba3d.com](http://www.karamba3d.com)  
[info@karamba3d.com](mailto:info@karamba3d.com)

Actualmente la creación de geometrías arquitectónicas está pasando por cambios profundos. Al principio, cuando los computadores entraron en la escena del diseño arquitectónico servían simplemente como tableros mejorados de diseño digitalizado. La combinación de entornos de programación y programas de dibujo asistido por ordenador (CAD), permitió una mayor flexibilidad en la producción de geometrías. Hoy en día, el enfoque cambió desde la concepción de un dibujo concreto a la formulación de un algoritmo que exprese la intención del diseño subyacente. De esta manera, la geometría puede ser convertida en la función de un conjunto dado de parámetros de entrada la cual se presta para ser modificada con el fin de optimizar la eficiencia estructural. Presentaremos diferentes enfoques paramétricos utilizados en la oficina Bollinger + Grohmann para desarrollar la transformación de la visión arquitectónica al edificio construido.

## ► SCRIPTING, GEOMETRÍAS PARAMÉTRICAS Y ELEMENTOS FINITOS

Cuando se trata de simular ya sea el comportamiento de estructuras con geometrías complejas o las condiciones de carga, los ingenieros estructurales se basan en el método de elementos finitos (FEM).

Con este método y el continuo incremento de potencia de cálculo de las computadoras modernas, se ha hecho posible predecir a un nivel muy detallado la respuesta de estructuras bajo cargas externas. La enorme cantidad de datos que resultan de tales cálculos hizo necesario recurrir desde el principio a medios gráficos para la visualización de estos resultados. Por lo tanto, los programas más modernos de elementos finitos (FE) incorporan un entorno de CAD y permiten al usuario interactuar con el modelo digital a través de una interfaz gráfica. Por defecto, las aplicaciones tradicionales de FE asumen que existe un único modelo estructural con una geometría dada que necesita ser analizado en detalle. Este factor resulta el principal obstáculo para la integración de los cálculos de elementos finitos en flujos de trabajo digitales completamente automáticos.

## ► CONTROL DE PROGRAMAS DE ELEMENTOS FINITOS (FE) A TRAVÉS DE SU INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN DE APLICACIONES (API)

Las geometrías paramétricas o generadas a través de códigos de programación son un producto reciente en el diseño arquitectónico, y las aplicaciones de FE están comenzando a apoyarlas por el momento.

Una estrategia puntual para permitir el acceso a las funciones del paquete FE es la implementación de una interfaz de programación de aplicaciones. Con esta interfaz, los usuarios pueden escribir códigos de programación utilizando las funciones ofrecidas por el programa correspondiente. Sin embargo, la mayoría de los paquetes FE tradicionales están diseñados como aplicaciones monolíticas que se soportan a sí mismas. Por lo tanto, con frecuencia no es posible obtener un control más detallado en el trabajo que se está desarrollando. Por ejemplo, en vez de determinar un aspecto específico de interés del comportamiento estructural, el programa calcula todo el espectro de posibles variables de respuesta. Esto es costoso en términos de la potencia utilizada por el computador y, por lo tanto, en tiempo de cálculo.

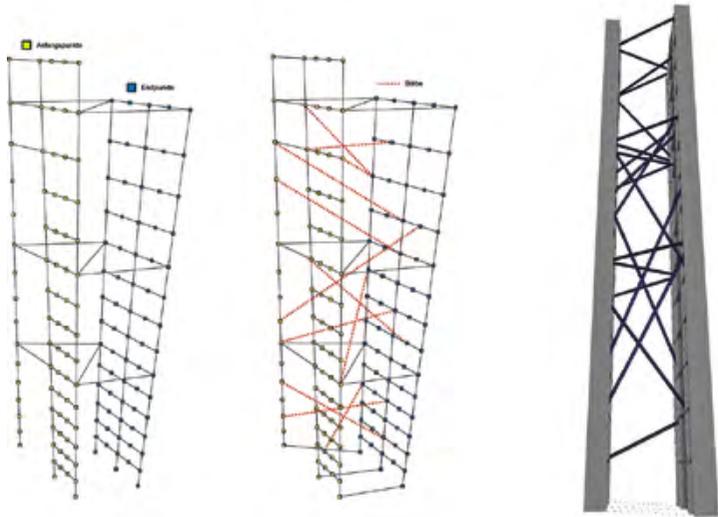
Otra seria limitación intrínseca en la interfaz programada de aplicaciones (API) de aplicaciones tradicionales de FE es que estos programas se basan principalmente en un estilo de programación por procedimientos. Esto se debe al hecho de que normalmente los FE están conformados por miles de líneas de código que se van acumulando durante décadas. Las ventajas ofrecidas por la programación orientada a objetos

—un concepto de codificación relativamente reciente, ya soportado por la mayoría de los lenguajes de programación— no pueden ser plenamente aprovechadas cuando se vincula a antiguas API basadas en procedimientos. Esto resulta en un gasto computacional adicional y, por lo tanto, en un incremento en el tiempo de procesamiento. [\[Ver Figura 1\]](#)

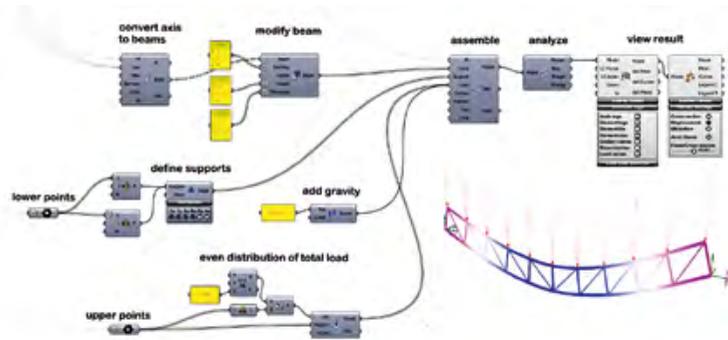
El proyecto de investigación “Generación algorítmica de tramas espaciales complejas”, realizado en la Universidad de Artes Aplicadas en Viena, entre 2008 y 2010, trató la integración de la evaluación del desempeño estructural con geometrías paramétricas y algoritmos genéticos. Una primera configuración algorítmica comprendía un paquete FE RStab que podía controlarse desde un código de programación Visual Basic (VB) ejecutado dentro de una hoja de cálculo de Excel.

El código VB implementó un simple algoritmo genético (GA) (Goldberg, 1989) en los procedimientos de utilidad para la transmisión de datos geométricos a la aplicación FE, ejecutando el cálculo y leyéndolo en datos de respuesta estructural. En la mayoría de los casos el desplazamiento máximo bajo un determinado conjunto de cargas sirvió como criterio de optimización.

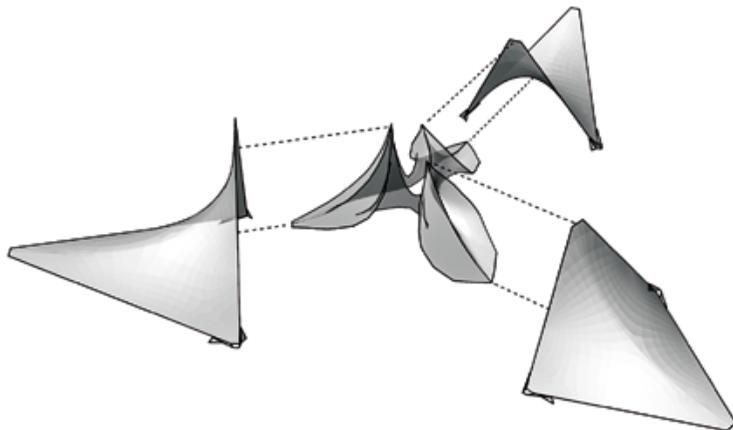
1.



2.



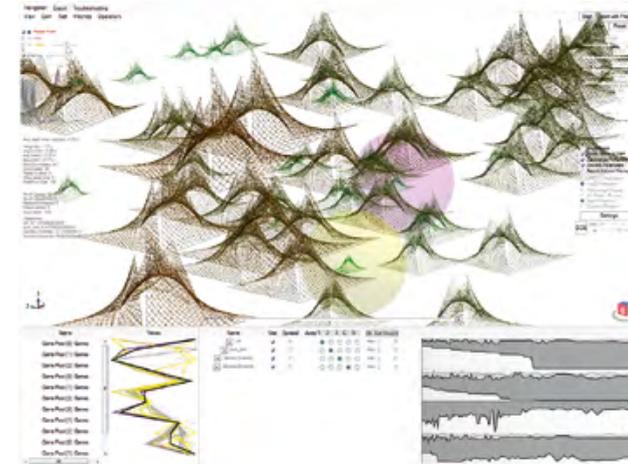
3.



4.



5.



6.



Figura 1. Izquierda: geometría base, Centro: ejemplo de diseño de las diagonales, Derecha: resultado optimizado de la estructura. / Fuente: Bollinger + Grohmann Ingenieure (2006).]

Figura 2. Definición de Grasshopper de un modelo estático de una cercha en Karamba./ Fuente: Preisinger (2016).]

Figura 3. Principales partes del pabellón de la Bienal Internacional de Arquitectura China 2013. / Fuente: Bollinger + Grohmann Ingenieure (2016).]

Figura 4. Diferentes patrones de cuadrilla de conchas basados en líneas magnéticas. / Fuente: Bollinger + Grohmann Ingenieure. (2016).]

Figura 5. Optimización multiobjetiva hecha con el *plugin* Octopus GH. / Fuente: Bollinger + Grohmann Ingenieure (2016).]

Figura 6. Pabellón de la Bienal Internacional de Arquitectura China, Beijing, Xia Shi. / Fuente: Zaha Hadid Architects (2016).]

La parametrización geométrica fue programada dentro de un *script* de VB. Consistía en la generación de conexiones en posiciones arbitrarias entre conjuntos predefinidos de nodos. Así, la parametrización le permitía a uno, por ejemplo, optimizar el diseño de las diagonales en las cerchas.

Debido al hecho de que un análisis estructural de una estructura de tamaño mediano consume aproximadamente un segundo de tiempo de cálculo y ejecutar una optimización genética normalmente comprende varios miles de estos cálculos, los trabajos típicos de optimización duraban usualmente una noche. A pesar de sus limitantes en rendimiento y versatilidad debido a la programación geométrica paramétrica, esta configuración demostró ser práctica en varios proyectos del mundo real.

Uno de estos fue la optimización de la posición de las diagonales que conecta los dos núcleos principales del edificio del Banco Central Europeo (EZB) en Frankfurt. La estructura consta de dos núcleos principales que están separados a lo largo de la altura completa del edificio por un gran atrio. Sin un arriostamiento entre estos dos núcleos, la rigidez horizontal total sería igual a la suma de sus rigideces, por lo tanto, no es suficiente. Al añadir las dos diagonales antiguamente separadas, los elementos estructurales comienzan a actuar como una gran sección transversal y la distancia entre los núcleos puede activarse, así como su altura estática. En la figura 1 se muestra en el lado izquierdo un sistema ideal estructural

derivado de la geometría de la construcción inicial. En tres niveles las plataformas proporcionan la posibilidad de cruzar de un lado del edificio al otro. Los puntos amarillos y azules simbolizan los puntos donde las diagonales pueden comenzar y terminar. La posición de una diagonal se describe mediante dos parámetros, los cuales son los números del nodo de sus puntos finales. En el centro de la figura se muestra una estructura con 12 conexiones. La carga horizontal del viento fue seleccionada como la carga externa dominante. La desviación horizontal máxima bajo carga de viento se minimiza. En la parte derecha de la imagen se encuentra el resultado del procedimiento de optimización, el cual sirvió como base de futuras decisiones arquitectónicas que conllevaron al diseño definitivo.

#### ► ENTORNOS DE COMPUTACIÓN VISUAL EN APLICACIONES (CAD)

Contrariamente a las aplicaciones de elementos finitos, los programas CAD son relativamente livianos en términos de su código base. Esto hace que sean más fáciles de adaptar a los nuevos conceptos de programación y a la implementación de innovadores diseños de interfaz de usuario. Una de estas innovaciones es la introducción de entornos de lenguaje de programación gráfica para la generación y la manipulación de la geometría. Generative Components (GC) (Aish, 1989) se situó en el comienzo del desarrollo y posteriormente se le unió Grasshopper (GH) (Grasshopper, 2015) para Rhinoceros. Tanto GC como GH representan extensiones de programas de CAD 3D.

En lugar de formular un algoritmo escribiendo comandos en un editor de texto, estas extensiones le proporcionan al usuario bloques funcionales que tienen una representación gráfica y pueden combinarse en la pantalla para formar pequeños algoritmos (véase figura 2). Los datos fluyen a través de conexiones (simbolizado como tubos) entre los componentes (simbolizado por rectángulos) los cuales realizan operaciones en el flujo de datos.

#### ► ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN GRASSHOPPER CON KARAMBA [Ver Figura 2]

GH ofrece la posibilidad de ampliar su funcionalidad mediante la adición de *plugins* escritos personalizados. Desde la perspectiva del usuario-interfaz, los componentes personalizados se ven y se sienten propios del programa. Con base en la experiencia adquirida durante el proyecto de investigación “Generación algorítmica de tramas espaciales complejas”, era obvio empezar a incorporar las capacidades de análisis estructural en GH.

Esto condujo al desarrollo del kit de FE Karamba (Preisinger, 2014). El objetivo principal de este esfuerzo era traer el análisis estructural, paramétrico e interactivo al alcance de una amplia gama de usuarios.

La figura 2 muestra una definición de GH con componentes de Karamba para analizar el sistema estructural de una cercha. Karamba contiene componentes para definir cargas externas, soportes, secciones transversales, materiales, entre otros, y proporciona categorías que los simbolizan.

En la mayoría de los casos, el desempeño estructural —y, por lo tanto, la eficiencia material— constituye sólo uno de los varios objetivos que el diseño de un edificio debe cumplir. Otros posibles objetivos de diseño en conflicto pueden derivarse de, por ejemplo, la iluminación, la climatización ambiental, la acústica o de requisitos estéticos.

El diseño abierto de GH fomenta un ámbito de *plugins* que abarca muchos aspectos de los temas anteriores. Motores de optimización como Galapagos (Rutten, 2013), que hace parte de GH, y otros como Goat u Octopus (Vierlinger, 2013), que vienen como *plugins*, hacen que sea fácil optimizar una estructura hacia metas de diseño variables. Cuando se trata de optimizar el comportamiento de carga de una estructura, hay tres niveles distintos en los cuales pueden ocurrir cambios. En orden ascendente de complejidad con respecto a las estrategias de solución aplicadas, éstas son las secciones transversales de los miembros estructurales, la forma de la estructura y la topología. En el siguiente apartado se mostrará cómo GH y Karamba pueden ser herramientas útiles para tareas de optimización estructurales arbitrarias.

#### ► OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO DE LA TOPOLOGÍA

Con múltiples objetivos en desacuerdo, la optimización se convierte en la negociación de extremos, mediante la ponderación de diferentes intereses. El resultado del proceso no es una única mejor solución, sino una variedad de posibilidades,

todas óptimas en el sentido de que no se pueden mejorar para un objetivo sin degradar a la otra. Esto le da al diseñador la libertad para, finalmente, comparar, concluir y seleccionar entre un conjunto de opciones que hay entre las soluciones más intensas en cada una de las dimensiones de objetivos considerados.

En lugar de tener que aceptar una única solución como la mejor, la decisión final la tiene el humano. Esto se relaciona con la pregunta general sobre qué optimizar, ya que un problema de diseño prácticamente nunca tiene un único objetivo y el proceso de identificación de los objetivos más relevantes es tan importante como la optimización numérica. De esa manera, otra ventaja del proceso es una mayor comprensión de la naturaleza del problema, adquirida al examinar diferentes soluciones ponderadas, y paso a paso reducir el número de objetivos a partir de gran número inicial, hasta llegar a los más relevantes.

Un ejemplo básico podría ser la distribución de columnas para sostener una estructura determinada. Aquí los objetivos en conflicto serían el número de elementos colocados (mientras menos, mejor), el desplazamiento máximo (más columnas ayudan a reducir la deflexión) y la masa resultante del dimensionamiento de la sección transversal (tramos más cortos entre las columnas permiten losas de piso más delgadas).

El pabellón de la Bial Inter-nacional de Arquitectura China 2013, en Beijing, fue diseñado en estrecha colaboración con el departamento de investigación

de Co-De, de Zaha Hadid Architects de Londres. [\[Ver Figura 3\]](#)

Esta fue una buena oportunidad para poner a prueba las estrategias de optimización *multiobjetivo*. El propósito del diseño es una reinterpretación formal de las membranas de doble curvatura de Félix Candela, demostrando las capacidades de las herramientas digitales contemporáneas en la búsqueda y la articulación de lógicas estructurales. La figura 3 muestra las partes principales del pabellón. Un trípode conecta las tres superficies asimétricas, interrumpiendo el comportamiento estructural originalmente homogéneo. En una primera etapa, se utilizaron alternativas derivadas de una búsqueda formal de las membranas y un trípode funcionó como una guía cualitativa para el diseño de la superficie. Los parámetros variables determinan el vector normal del *offset* de los puntos de control NURBS, la altura, el ancho, el diámetro y las propiedades excéntricas del trípode. Los objetivos de la optimización fueron la reducción al mínimo del desplazamiento máximo bajo cargas verticales y horizontales y la masa resultante de la optimización del espesor. Esto representa una forma ya establecida de mejorar la forma de una membrana para la eficiencia estructural (Vierlinger, 2012). [\[Ver Figura 4\]](#)

En la segunda etapa, el objetivo era superar las limitaciones analíticas de generación *bottom-up* de patrones de grilla de la membrana. Aquí se hizo uso principal del estrés, el momento o líneas de flujo de fuerza que son el resultado de cálculos de FE. Estos métodos

se derivaron analíticamente a partir del comportamiento de estructuras continuas en un solo escenario de carga, y se convirtieron en un patrón discreto. También se desarrolló una parametrización genérica por campo magnético que sirvió como variable de diseño, la cual fue lo suficientemente flexible como para producir diferentes mecanismos estructurales y, al mismo tiempo, mantuvo una estrecha relación entre la configuración de parámetros y el objetivo, para el buen comportamiento de convergencia.

La figura 4 muestra ejemplos de patrones de grilla-membrana que se probaron para la eficiencia estructural. [\[Ver Figura 5\]](#)

El principal problema de la integración del campo vectorial es lograr robustez para su posterior utilización procesal. Una estructura reticular normalmente muestra una distribución uniforme aproximada de los elementos que no están dados por las curvas tradicionales del campo vectorial de la integración. Por lo tanto, se utilizó un modelo sustituto estructural para la optimización, para investigar la direccionalidad del campo. En cada vértice de la malla los segmentos cortos fueron orientados en paralelo y en ángulo recto con respecto al campo vectorial parametrizado subyacente. Con el fin de llegar a una estructura conectada, los extremos de las piezas de cada viga fueron conectados con fuertes resortes usando la conectividad de la malla subyacente. Este enfoque simplificado permite comparar diferentes orientaciones del campo vectorial para usar como geometrías de la estructura reticular.

La figura 5 muestra el grupo de mejores soluciones con diferentes diseños de estructura reticular para los objetivos de máximo desplazamiento y peso muerto total. [\[Ver Figura 6\]](#)

El patrón estructural derivado de la optimización automática sirvió como base para el patrón final, el cual se sometió a etapas adicionales de mejora manual. La estructura de acero consistía en tubos de un diámetro constante de 3 cm, lo cuales se dispusieron en varias capas, siguiendo la distribución de las fuerzas internas (véase figura 6), dando lugar a múltiples grillas y planos paralelos en los puntos de concentración de tensión en las proximidades de los apoyos. Todo el análisis estructural se hizo en Karamba.

Los ejemplos presentados muestran cómo la evaluación estructural de geometrías paramétricas puede ser utilizada como un controlador de diseño para los procesos de diseño arquitectónico. En la mayoría de los casos la optimización estructural abarca sólo uno de los muchos aspectos que influyen en el diseño final de las estructuras. Por lo tanto, es importante proporcionar una amplia gama de soluciones que funcionen razonablemente bien bajo cargas externas y en las cuales se puedan basar nuevas decisiones de diseño arquitectónico. La flexibilidad de las geometrías paramétricas abre nuevas posibilidades para generar grandes espacios potenciales de diseño. La evaluación estructural proporciona una forma para preseleccionar subconjuntos de diseños sobre una base racional.



## REFERENCIAS

- » Aish, R. (2005). *Introduction to Generative Components. A parametric and Associative Design System for Architecture, Building Engineering and Digital Fabrication*. Recuperado de <http://www.bentley.com>.
- » Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Boston, MA: Addison-Wesley Longman.
- » Grasshopper 3D. (2015). En *Wikipedia. The Free Encyclopedia*. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Grasshopper\\_3D](https://en.wikipedia.org/wiki/Grasshopper_3D)
- » Hofmann, A., Scheurer, F., Bollinger, K. y Grohmann, M. (2001). Structure generation using evolutionary algorithms. En Matrahaza, *Recent trends in combinatorics* (pp. 1-6). Cambridge: Cambridge University Press.
- » Preisinger, C. (2014). Karamba - parametric structural modeling [manual del usuario para la versión 1.0.5]. Recuperado de <http://karamba3d.com>
- » Rutten, D. (2013). Galapagos: On the logic and limitations of generic solvers. *Computation Works: The Building of Algorithmic Thought* [Edición especial]. *Architectural Design*, 83(2), 132-135.
- » Vierlinger, R. (2012). *A Generic Approach to Structurally Optimized Surfaces*. *Advances in Architectural Geometries* [póster académico], París, Francia.
- » Vierlinger, R. (2013). A framework for flexible search and optimization in parametric design, rethinking prototyping. *Design Modelling Symposium*, Berlin, China.

Clemens Preisinger finalizó sus estudios en Ingeniería Estructural en la universidad técnica de Viena (TU) con un máster en 2002. Posterior a esto trabajó como asistente investigador en el instituto para concreto estructural en la Universidad Técnica de Viena. Esto durante cuatro años combinado con actividades de investigación y conferencias resultaron en una tesis de PhD titulada: "Numerical and Experimental Investigations Regarding the Transformation of Flat Slabs to Double Curved Shells". Desde 2006 hasta 2008 trabajó como ingeniero en una oficina de Ingeniería Civil enfocada en puentes e ingeniería subterránea.

# DISEÑO MEDIOAMBIENTAL PARA EDIFICIOS, COMO PROCESO ITERATIVO

EMPLEANDO HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

**Mostapha Sadeghipour Roudsari**  
 School of Design,  
 University of Pennsylvania  
[www.grasshopper.com/group/ladybug](http://www.grasshopper.com/group/ladybug)  
[sadeghipour@gmail.com](mailto:sadeghipour@gmail.com)

Durante el proceso de diseño de un edificio, los diseñadores e ingenieros atraviesan muchas etapas e iteraciones en diferentes temas y escalas, siendo el desempeño ambiental uno de los muchos criterios que deben abordar. La mayoría de los programas de análisis de rendimiento de los edificios están diseñados para apoyar un proceso de diseño lineal (figura 1), que rompe el proceso de pensamiento en pasos discontinuos. Normalmente, los diseñadores hacen una pregunta específica en una etapa del diseño, toman una decisión y avanzan a la siguiente etapa. En realidad, el proceso de diseño, similar a cualquier otro proceso de pensamiento creativo, es bastante flexible e impredecible. Progresa continuamente en diferentes direcciones con el fin de abordar diferentes temas a diferentes escalas (figura 2). La herramienta de análisis Ladybug es una colección de *plugins* de sostenibilidad para Grasshopper 3D y Dynamo BIM, que busca apoyar el proceso creativo en diferentes etapas del diseño. [Ver Figuras 1 y 2]

Ladybug importa archivos meteorológicos de Energyplus (.EPW) y proporciona una variedad de gráficos 3D interactivos para apoyar el proceso

de toma de decisiones durante las etapas iniciales de diseño. Honeybee conecta a Grasshopper y Dynamo con motores de simulación, específicamente EnergyPlus, Radiance, Daysim y OpenStudio, para validar datos que evalúan el consumo de energía, confort, iluminación natural y artificial. Estos *plugins* permiten un acoplamiento dinámico entre las interfaces de diseño de programación visual (Grasshopper y Dynamo) y los datos validados por los motores de simulación ambiental (EnergyPlus, Radiance, Daysim y OpenStudio). Recientemente se añadió Butterfly a la colección de *plugins* para conectar OpenFOAM, habilitando el modelado de flujos de aire. [Ver Figura 3]

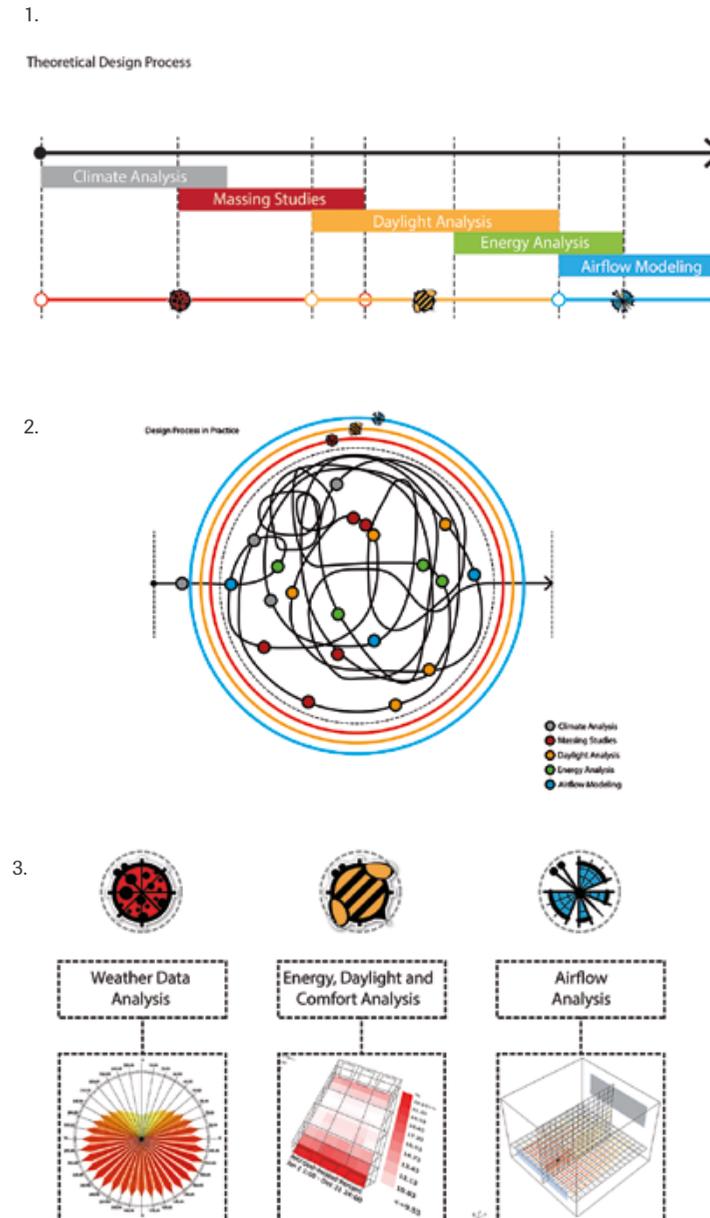
Los *plugins* siguen tres reglas principales: 1) flexibilidad en el flujo y aplicación de trabajo, 2) capacidad de adaptación en diferentes etapas de diseño y 3) soporte automatizado iterativo de flujos de trabajo.

Para proporcionar flexibilidad, las herramientas están diseñadas sobre la base de un modelo modular distribuido en el que el usuario puede combinar varios módulos en diferentes órdenes para crear diferentes flujos de trabajo.

Figura 1. Proceso de diseño lineal. / Fuente: Sadeghipour. (2015).]

Figura 2. Proceso de diseño. / Fuente: Sadeghipour. (2015).]

Figura 3. Ladybug, Honeybee y Butterfly. / Fuente: Sadeghipour. (2015).]



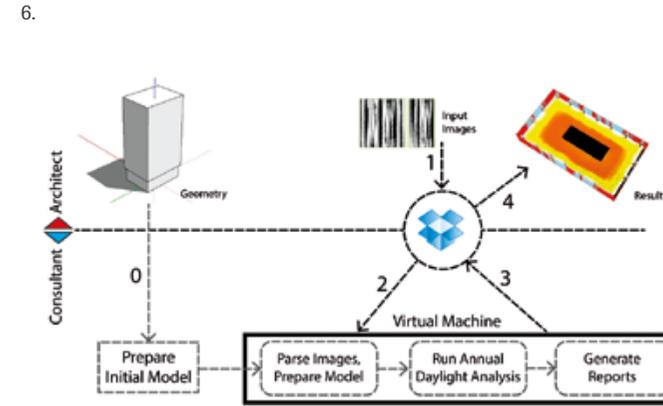
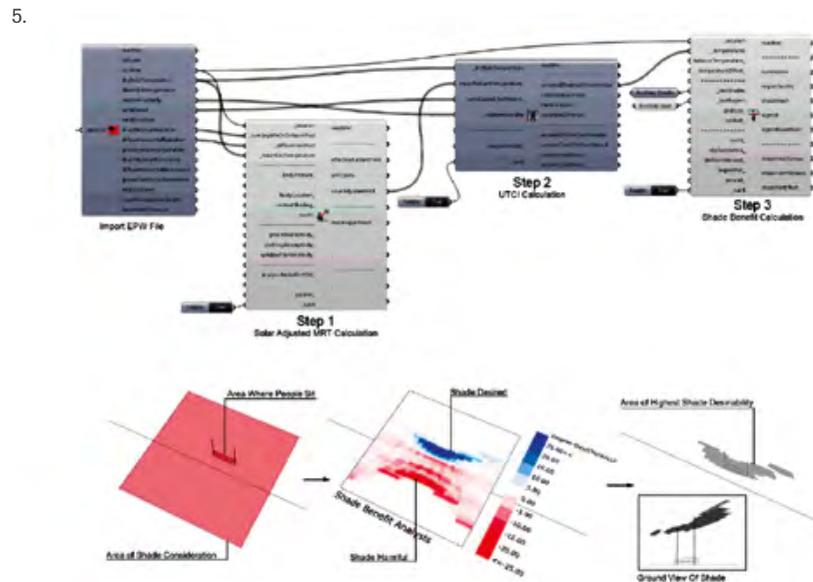
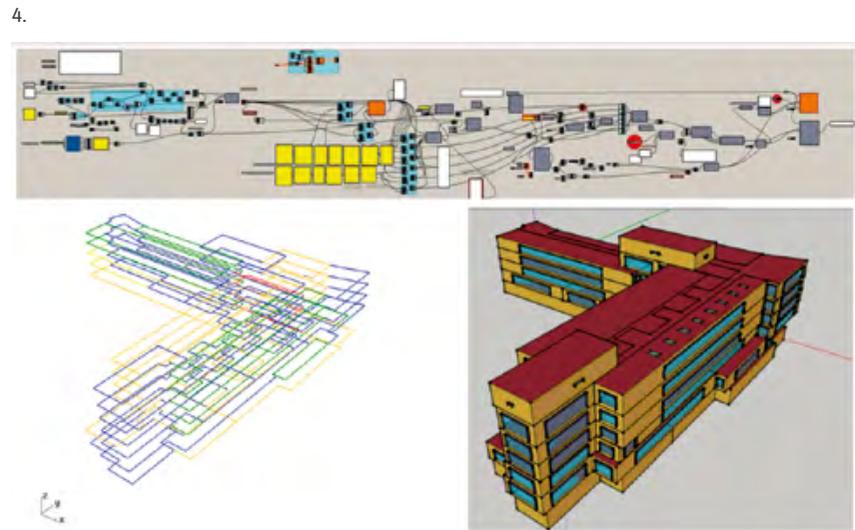


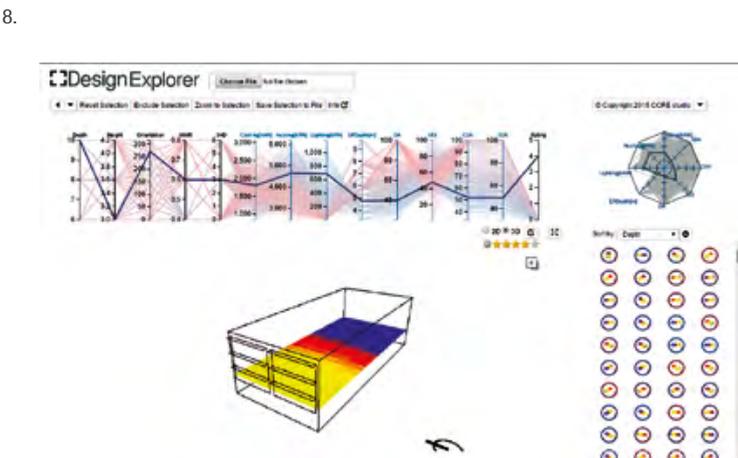
Figura 4. Creando un modelo energético a partir de las plantas arquitectónicas. / Fuente: Sadeghipour. (2015). ]

Figura 5. Cálculo de sombra al aire libre. / Fuente: Sadeghipour. (2015).

Figura 6. Solución automática de flujo de trabajo de diseño. / Fuente: Naugle y Sadeghipour (2015).]

Figura 7. Flujo de trabajo personalizado de análisis de diseño automatizado. / Fuente: Sadeghipour. (2015). ]

Figura 8. DesignExplorer. / Fuente: Thronton Tomassetti, CORE Studio. (2015).]



El modelo distribuido de acoplamiento se caracteriza por una profunda integración en el nivel de modelado, utilizando componentes intermedios para traducir datos entre la herramienta de diseño y las herramientas de simulación. Este método proporciona un enfoque flexible al problema sin una simplificación excesiva (Negendahl, 2015).

Las figuras 4 y 5 muestran dos flujos de trabajo diferentes para crear un modelo de energía a partir de planos y calcular los beneficios de sombra al aire libre. [Ver Figuras 4 y 5]

Un nivel extra de flexibilidad lo aporta la naturaleza del código abierto, dado al estar las herramientas disponibles bajo licencia pública general (GPU), lo que permite modificar y alterar los componentes para crear nuevos flujos de trabajo u optimizar la herramienta para cada caso específico. Esto hace que las herramientas se adapten a diferentes procesos innovadores de diseño. En Naugle y Sadeghipour (2015) se introduce un flujo de trabajo automatizado para la colaboración entre arquitectos e ingenieros que utiliza componentes de Honeybee para ejecutar de forma automática el análisis y proporcionar retroalimentación para los diseñadores [Ver Figura 6].

Por último, con estas herramientas y metodología se puede automatizar todo el proceso, incluyendo la generación de geometría, la preparación del modelo de análisis, la ejecución de análisis y la visualización de los resultados. La figura 7 muestra un ejemplo de flujo de trabajo de diseño automatizado. Estos procesos automatizados

pueden generar y analizar cientos de opciones de diseño en un período muy corto de tiempo, las cuales, con procesos convencionales de diseño, habrían llevado mucho tiempo, si es que hubiera sido posible. De esa manera, estos procesos permiten a los diseñadores e ingenieros explorar una gama más amplia de opciones de diseño y por lo tanto tomar mejores decisiones soportadas por los análisis. [Ver Figura 7]

Estos nuevos flujos de trabajo de diseño han introducido en la arquitectura tanto nuevas oportunidades como nuevos retos. Uno de los principales retos es poder sacar conclusiones a partir de una gran cantidad de datos que son generados por un proceso automatizado e iterativo. Es muy valioso analizar varias opciones de diseño, sin embargo, si estos análisis no ayudan a los diseñadores e ingenieros a tomar mejores decisiones, esto sólo añadiría otro nivel de complejidad a todo el proceso. Existen diferentes enfoques para filtrar grandes volúmenes de datos con el fin de encontrar las mejores opciones. La mayoría de las metodologías de filtración están basadas en diferentes criterios para encontrar las mejores soluciones.

Pollination y DesignExplorer (Thornton Tomasetti, el CORE Studio, 2015) son dos aplicaciones web que están diseñadas para ayudar a los usuarios a filtrar las mejores opciones de sus extensos procesos iterativos. [Ver Figura 8]

Ladybug permite a equipos de diseño crear flujos de trabajo integrados que pueden ser compartidos entre diferentes prácticas y ser utilizados en diferentes

etapas de diseño, proporcionando a los diseñadores e ingenieros retroalimentación de sus decisiones de diseño. Además, hace explícitos factores de diseño antes invisibles, lo que promueve la creación de diseños ambientalmente responsables y ayuda a generar edificios de alto rendimiento.



#### REFERENCIAS

- » DesignExplorer. (2015). Thornton Tomasetti, CORE Studio. Recuperado de <http://tt-acm.github.io/DesignExplorer>
- » Naugle, M. y Sadeghipour, M. (2015). Remote solving: A methodological shift in collaborative building design and analysis. *Proceedings of Simulation for Architecture and Urban Design*, 3, 189-195.
- » Negendahl, K. (2015). Building performance simulation in early design stage: An introduction to integrated dynamic models. *Automation in Construction*, 54, 39-53.

Mostapha Roudsari es un arquitecto que trabajó por algunos años en consultoría medioambiental en Teherán, Irán. En septiembre del 2010 se involucró con la Universidad de Pensilvania, Penn, como estudiante de maestría del programa Environmental Building Design (MEBD) de la Escuela de Diseño. Su tesis fue reconocida como el mejor proyecto de grado en Diseño Urbano, además de ser la mejor tesis de pregrado en el campo de conservación energética antes de recibir su título de maestría. Trabajó como profesor asistente en Mark Alan Hughes' Sustainability, donde lideró un grupo de estudiantes que realizaban estudios en Philadelphia para la certificación LEED de edificios.

# SE VE BIEN EN PAPEL

ESPECULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

La arquitectura siempre ha tenido una afinidad por el papel, su ineludible planaridad requiere un grado de abstracción conceptual que permite una historia de amor de especulación disciplinar. La especulación se ha convertido en un medio importante para interrogar los límites y las posibilidades de la arquitectura a partir de una cesión de su esencial y a veces limitada capacidad: la construcción. Con el transcurso del tiempo, hemos llegado a tener un amplio espectro de arquitectura inscrita entre estos dos polos: la especulación y la construcción, ambos como componentes vitales de la práctica. Es reduccionista simplemente tomar nota de la distancia entre los dos como en el contexto de la práctica, ellos coexisten en concesión uno con el otro; construir calcifica la flexibilidad de la especulación, mientras la naturaleza de la especulación admite un potencial fallo estructural, y los edificios no deben fallar. Estos dos polos empujan y tiran uno del otro, en una especie de equilibrio radical que remodela continuamente el enfoque y los límites de la práctica.

Dentro del amplio campo de la arquitectura, existen muchas formas de práctica, de académicos solitarios a equipos

corporativos multinacionales, con modelos muy distintos uno del otro, haciendo difícil creer que son parte de la misma disciplina. La pregunta no está en encontrar las diferencias —gran parte es evidente—, sino más bien en precisar cómo las diferentes formas de práctica se pueden pensar dentro de una definición compartida de la arquitectura. Lo académico, económicamente no es tan productivo como lo corporativo, pero podría decirse que contribuye al desarrollo de la disciplina de una manera más rápida y fuerte que la producción orientada al mercado y en serie de una oficina global. La oficina pequeña puede ser dirigida por directores/profesores que enseñan y también pueden construir proyectos dignos de mención. Sin embargo, la coalición de todos los tipos implica una posición acerca de cómo la especulación y la construcción dirigen la práctica. Oficinas de arquitectura e individuos como Archigram, Superstudio, Lebbues Woods o John Hedjuk han afectado a la arquitectura de manera profunda con poco o ningún edificio construido (o incluso a pesar de su construcción). Otros, como Rem Koolhaas, Peter Eisenman y Neil Denari han hecho transiciones de una carrera prolongada de trabajo académico especulativa

**Michael Szivos**  
Director de la oficina SOFTlab,  
Nueva York  
[Szivos.michael@gmail.com](mailto:Szivos.michael@gmail.com)

**Figura 1.** NOVA, Instalación para el Flatiron Holiday, Nueva York-Estados Unidos. / Fuente: Szivos, M. (2016).

1.



a la construcción, y en algunos casos, dan marcha atrás para volver al trabajo más especulativo. Aunque centradas principalmente en la construcción, prácticas como SOM, KPF y Foster & Partners, especulan sobre las herramientas tecnológicas y procesos de entrega utilizados para concebir, planear y construir algunos de los proyectos más complejos del mundo. Esta es una forma diferente de especulación a la de Woods o Eisenman, pero también es especulación.

La manera en que una determinada práctica reconcilia construcción y especulación varía: una conexión amplia permite la exploración hasta el punto de incluir otras disciplinas; una conexión elástica permite cambiar drásticamente los límites de la práctica; una conexión rígida y corta limita la especulación a centrarse exclusivamente en la manera de hacer edificios. La presencia de esta interacción entre especulación y construcción, en todas sus variantes, califica a una práctica como arquitectura.

Cortar esta conexión y permitir a la especulación ir separada y libre de la construcción daría lugar a dejar la arquitectura por otra profesión. Sin embargo, la combinación de especulación y construcción también elimina la conexión metafórica. Tal vez la fusión forzada de estos dos elementos aparentemente contradictorios cataliza una reacción que amplía los límites de lo que se considera arquitectura. O tal vez, implosionan en una práctica bastante cerrada y experimental para ser identificada como arquitectura. Tal es el caso de SOFTlab.

► EL TRAJE NUEVO DEL ARQUITECTO

*¡Su trabajo es excepcional, pero no es arquitectura!*  
Robert A. M. Stern

SOFTlab ha pasado de ser un estudio sin conexión entre especulación y construcción a un estudio con trabajo crítico que los combina. La mayor parte de los primeros proyectos estaban fuera del ámbito de la arquitectura —diseño web, producción de vídeo y las grandes instalaciones de medios de comunicación para otros artistas—. A pesar de la ausencia de la arquitectura, este trabajo nos permitió probar cómo nuestra formación en arquitectura puede influir en el diseño de otros medios de comunicación. Este fue el comienzo de una crisis de identidad, en la cual pasábamos de manera fluida entre los bordes de la arquitectura y sus disciplinas limítrofes, a menudo borrando este límite en tierra de nadie. Con dificultad estas exploraciones nos obligaron a inventar nuestros propios protocolos y agendas. Sin embargo, la sombra de la arquitectura siempre se mantuvo: sitios web se consideraron espaciales y táctiles; películas fueron coreografiadas como diagramas que se desarrollan; esculturas de artistas fueron diseñadas a través de los detalles de construcción y secuencias constructivas más influenciadas por ensamblajes arquitectónicos que por típicos métodos de fundición o de talla. A medida que hemos aceptado nuevos tipos de trabajo, encontramos valor en el diseño de nuestras propias estrategias en lugar de volver a los métodos tradicionales de esas disciplinas. Incluso,

Figura 2. San Genaro North Gate, Nueva York-Estados Unidos. / Fuente: Szivos, M. (2016).

Figura 3. Chromatex, instalación creada para el Bridge gallery, Nueva York, Estados Unidos. / Fuente: Szivos, M. (2010)

Figura 4. San Genaro North Gate, Nueva York-Estados Unidos. / Fuente: Szivos, M. (2011).

Figura 5. NOVA, Instalación para el Flatiron Holiday, Nueva York-Estados Unidos. / Fuente: Szivos, M. (2016).

Figura 6. Chromatex, instalación creada para el Bridge gallery, Nueva York, Estados Unidos. / Fuente: Szivos, M. (2010)

Figura 7. BOFFO, "El lago de las estrellas", Nueva York, Estados Unidos. / Fuente: Szivos, M. (2011)

Figura 8. Beaux Arts Ball. / Fuente: Szivos, M. (2012)

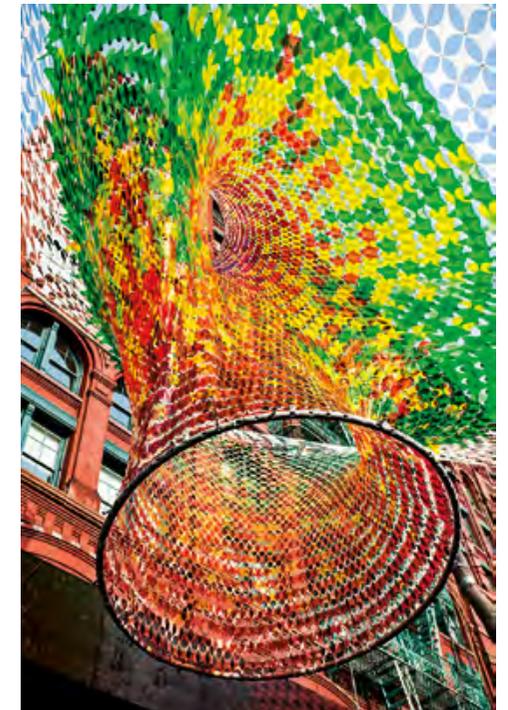
2.



3.



4.



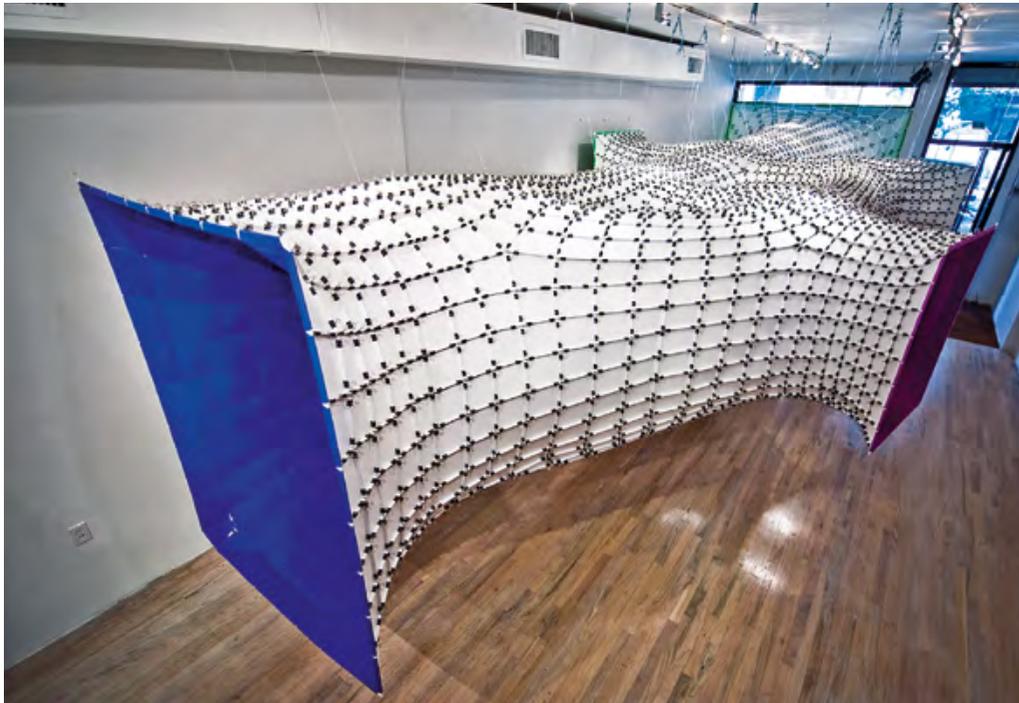
5.



7.



6.



8.



mientras se desarrollaron métodos desde cero, la arquitectura fue el lente a través del cual se vieron estos proyectos. Se dibujó sin importar en qué disciplina operábamos, ya que era la única manera que sabía cómo explorar en diseño.

Durante algún tiempo hemos experimentado a través del hacer, con una mezcla de métodos analógicos y digitales. La mayoría ha probado diversos procedimientos para abordar límites de complejidad en términos de construcción y montaje de partes y piezas. Al igual que la arquitectura influye cómo acercamos a un trabajo extradisciplinar, los nuevos proyectos comenzaron a influir en nuestros experimentos arquitectónicos. El diseño de páginas web requiere de programación personalizada, la producción de vídeo, de nuevos flujos de trabajo entre diferentes tipos de software. Esta rápida oscilación entre la especulación y la construcción condujo a una especie de esquizofrenia en la que se hizo cada vez más difícil distinguir la experimentación de la manifestación, la fantasía de la realidad.

El alejamiento de la realidad puede ser muy liberador. Por un lado, esta condición nos permitió cambiar los medios de comunicación con los cuales especulábamos. Mientras que la especulación se produce normalmente dentro de un medio de representación pesado, como una superficie plana o un modelo limitado por la escala, nosotros consideramos la obra final construida como la especulación, obligándonos a pensar menos en términos de proyectos singulares y más

en términos de interacciones productivas a través de diversos métodos y tendencias. Cada proyecto tomó una postura sobre sus consecuencias, teniendo en cuenta esencialmente lo que provocaría en sí misma. Al exigir más de la capacidad de un proyecto para evocar preguntas en lugar de asentarse como la respuesta, los resultados fueron más atractivos. Ya no estábamos destinados al escepticismo que rodea la especulación ni a comprometer nuestros deseos por la construcción.

Nuestro tratamiento de los proyectos como especulaciones se extiende hasta nuestras publicaciones, que no incluyen dibujos, *renders* o propuestas de proyectos que no se han completado físicamente, como en otras disciplinas en las que proyectos especulativos sin construir no son una parte importante de la producción del proyecto. Nuestra práctica considera un sitio web o una película, un proyecto acabado, análogo a una obra construida, mientras que los planos, diagramas y pruebas de movimiento son estrictamente para producir el trabajo final. Lo mismo ocurre con nuestra obra arquitectónica; cambiar el valor de los dibujos como artefactos para el desarrollo del proyecto ha producido una honestidad en la que no podemos depender de las libertades tomadas en la representación para crear la atmósfera en la que encuadrar un proyecto. Por extraño que parezca, nuestra separación de la realidad requiere una inversión fuerte en la realidad, ya que nuestra obra construida crea esa atmósfera a través del arte, la tecnología y el diseño. La no utilización de los dibujos puede haber costado nuestra etiqueta

como arquitectos, pero con el fin de combinar especulación y construcción, se optó por abandonar los métodos de especulación a favor de hacer proyectos. Al igual que los dibujos son motivos de la experimentación en un proyecto construido por un contratista, nos apropiamos de la realización del proyecto como un experimento. Nuestro principio siempre ha sido el de aceptar un trabajo con base en nuestro interés, en lugar de en un conjunto particular de habilidades disciplinarias.

En nuestro trabajo no abandonamos abiertamente la etiqueta de “arquitectos”, pero somos conscientes de las consecuencias de la exploración en un territorio marginal a la disciplina. La estrategia intuitiva para desestabilizar el enlace entre la especulación y la arquitectura sería simplemente cortarla. Hemos intentado eso y fuimos capaces de escapar de la atracción gravitatoria de la arquitectura.

Al igual que con cualquier enfoque fallido, se descubrió una posible condición que no vimos, deshacerse de este enlace mediante la combinación de estas dos capacidades aparentemente opuestas. Al entender nuestros proyectos como especulaciones, simplemente nos estamos entrenando para una arquitectura que aún no ha sucedido. Tal vez esto es sólo otra prueba que producirá un error, pero dará lugar a una nueva condición que todavía tenemos que descubrir. Para nosotros esa es la especulación y sólo puede ser probada a través de la construcción. Sin embargo, mediante la evaluación de nuestro trabajo como construcción, no estamos operando dentro de la arquitectura.

Somos ambivalentes en cuanto a nuestra distinción como arquitectos. Lo que nos parece interesante es la provocación, y el hecho de que esto se debe a una postura reaccionaria que nos lleva a creer que estamos en el camino correcto.



*Michael Szivos dirige el estudio SOFTlab con sede en Nueva York, fundado por él poco después de recibir el grado de Arquitecto de la Universidad de Columbia. El estudio está enfocado en la investigación, manufactura e ideas donde se han diseñado y producido proyectos a través de casi todos los medios; desde esculturas a gran escala fabricadas digitalmente hasta diseño interactivo e instalaciones digitales de video inmersivo.*

# ARQUITECTURAS CON RESPONSABILIDAD SOCIAL Y SENSORIAL

IMPLEMENTACIÓN DE COMPUTACIÓN Y MATERIALES

Esta investigación apunta a desarrollar una arquitectura que funcione como interfaz maleable para la interacción computador-humano. Las estructuras basadas en textiles están pensadas como arquitecturas para el acercamiento táctil y espacial. La inteligencia de esta arquitectura está definida por su responsabilidad para mejorar la comprensión espacial-temporal de la percepción y experiencia multisensorial (Ahlquist, 2016b). La definición espacial es reflexiva, no tiene un estado simple, pero sí una multiplicidad de estados impulsados directamente por la deformación intencional de sus condiciones físicas, visuales y auditivas. En consecuencia, la narrativa de la arquitectura sólo comienza en el momento en que el compromiso ocurre, su accionar para formar un estado sensitivo espacial coherente.

En este trabajo la coherencia de una experiencia temporal-espacial es examinada por la comprensión del proceso sensorial. Esto involucra la secuencia 1) recibir una serie de estímulos sensoriales, 2) interpretar la entrada de información, 3) coordinar estímulos simples con otros estímulos sensoriales, 4) determinar la respuesta y 5) ejecutar una acción determinada

(Iarocci y McDonald, 2006). Entendiendo los procesos en los que los datos sensoriales son recibidos e integrados a manera de respuesta, las arquitecturas están diseñadas para direccionar individuos que tengan dificultades en cualquiera de las etapas, en la formación de una experiencia perceptual. Se hace referencia, por ejemplo, al desorden del procesamiento sensorial (SPD), una condición que implica un “embotellamiento” sin filtro, datos sensoriales incontrolados, que conducen a una sobreintensificada experiencia del espacio y de todas sus características sensoriales. A menudo en la faceta del trastorno del espectro autista (ASD), se afecta la habilidad de autorregulación, motricidad y, por último, de aprendizaje e interacción con otros (Allen, Delpont y Smith, 2011).

Basado en los conceptos de integración sensorial y SPD, un aspecto crítico de la naturaleza de la materialidad en la arquitectura es su responsabilidad táctil y su variabilidad. Los problemas de procesamiento sensorial pueden provenir de una hiperresponsividad o hiporresponsividad coexistente al estímulo, lo que resulta en una actitud defensiva frente a la búsqueda de experiencias

## Sean Ahlquist

Profesor asistente de Arquitectura  
en la Universidad de Michigan  
Taubman College of Architecture  
and Urban Planning  
ahlquist@umich.edu

1.



2.



Figura 1. Capacidad de respuesta elástica y estructural en un objeto textil fabricado con Control Numérico por Computadora (CNC). / Fuente: Ahlquist, proyecto *Arquitecturas tejidas*, Universidad de Michigan. (2014).]

Figura 2. Prototipo en tejido de punto elástico Mobius. / Fuente: Ahlquist, proyecto *Arquitecturas tejidas*, Universidad de Michigan. (2014).]

**Figura 3.** Traducción de la distribución de fuerzas de tracción desde el modelo de SpringFORM al mapeado de la estructura de punto acanalado para ser tejida en CNC. Fuente: Ahlquist, proyecto *Arquitecturas tejidas*, Universidad de Michigan. (2014).]

**Figura 4.** Topología y exploración de la forma para una estructura híbrida textil (izquierda) y análisis de la variada curvatura (derecha) utilizada para la estructura ingenieril del GFRP. Sile O'Modhrain, *Superficies Sociales-sensoriales* – Proyecto realizado en una Investigación a través del hacer. / Fuente: Sean Ahlquist (2015)

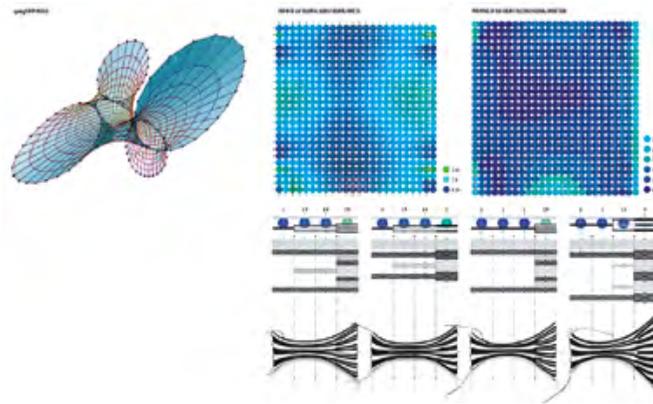
**Figura 5.** Prototipo parques de juego sensoriales 01. / Fuente: Ahlquist, Sile O'Modhrain, *Superficies sociales-sensoriales*. (2015).]

**Figure 5.** Topología y exploración de la forma para una estructura híbrida textil (izquierda) y análisis de la variada curvatura (derecha) utilizada para la estructura ingenieril del GFRP. / Fuente: Ahlquist, Sile O'Modhrain, *Superficies sociales-sensoriales*. (2015).]

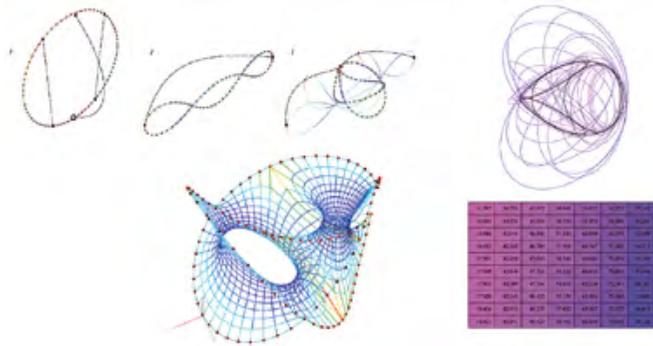
**Figure 6.** Prototipo parques de juego sensoriales 02. / Fuente: Ahlquist, Proyecto de *Investigación de superficies moldeables*, Universidad de Michigan, (2016).]

**Figura 6.** Prototipo Parques de Juego Sensoriales 02, Universidad de Michigan, AIA Proyecto de investigación de superficies moldeables. / Fuente: Sean Ahlquist (2016).

3.



4.



5.



6.



sensoriales sociales y no sociales específicas (Baranek *et al.*, 2013). La magnitud y el balance de los estímulos es significativamente influyente en la formación de una experiencia espacial coherente y regulada. En respuesta, la composición material de la arquitectura atiende a las configuraciones de elasticidad y espacialidad en un rango de escalas, desde la sensibilidad táctil a la escala de la mano para abarcar el apoyo de la escala del cuerpo. [\[Ver Figura 1\]](#)

La materialidad usada en este proyecto está formada por un sistema estructural fabricado en textil, que hace referencia a un *híbrido textil*. La forma se logra mediante el equilibrio de más de un tipo de acción estructural, invocando el término *híbrido* definido por Heino Engel en la clasificación de los sistemas estructurales fundamentales (Engel, 2007). Específicamente, la integración de superficies tensadas (forma-activa) y las redes lineares de curvatura activa (flexión-activa) (Lienhard, Alpermann, Gengnagel y Knippers, 2012; Lienhard, Ahlquist, Knippers y Menges, 2013; Ahlquist, Lienhard, Knippers y Menges, 2013). La Tejedora Digital CNC explora la capacidad única de producir textiles jaspeados a la medida de la capacidad de respuesta tanto estructural como sensorial.

#### ► ARQUITECTURAS SENSORIALES-SOCIALES

En términos generales, un sistema material se define por tres características principales: topología, acción estructural y materialidad. Estas sirven como variables y restricciones que

permiten analizar la exploración del diseño en un sistema altamente integrado (Ahlquist y Menges, 2013). En un híbrido textil, la topología define el número, tipo y formas de asociación entre el textil y los elementos de material compuesto a manera de “barras”. La acción estructural hace referencia a la aplicación de tensiones en el encofrado y las acciones de flexión-activa en la red de elementos. La materialidad encapsula las propiedades que subyacen en los diferentes tipos de elementos, así como las lógicas que definen el montaje del sistema.

#### ► SISTEMAS ESTRUCTURALES HÍBRIDOS DE TEXTILES TEJIDOS

La clasificación específica de un híbrido textil hace énfasis en la prioridad de la composición fibrosa de los elementos de flexión-activa y las membranas textiles en la formación de una arquitectura integrada. El término *flexión-activa* se refiere a las “vigas” o secciones rectas que han sido deformadas elásticamente, ganando rigidez a través de la geometría y la tensión residual, más adecuadamente realizadas con materiales reforzados con fibras de alta resistencia que trabajan con baja rigidez en momentos de flexión (Lienhard, Alpermann, Gengnagel y Knippers, 2012). En cuanto a la forma-activa textil, esta investigación es el paso desde una uniformidad de fibra biaxial de un tejido textil de uso frecuente, a uno de organización de fibras recargadas. La exploración de la diferenciación se lleva a cabo mediante el uso de una tejedora de punto digital CNC, donde la estructura de punto

está diseñada para dar respuesta a la tensión previa en forma activa y permitir la realización de determinadas cualidades o experiencias espaciales táctiles.

En esta investigación, estos parámetros operan de forma jerárquica y multiescalar en la formación de un tejido de punto que incurre en la lógica de un sistema de materiales dentro de sí mismo. El acto de tejer instiga un comportamiento del material a manera de *inter-looping*<sup>1</sup>, donde las fibras activas en estado de estrés y las geometrías basadas en las relaciones entre las propiedades de los materiales y las estructuras de puntadas individuales se relacionan mutuamente. Esto significa un cambio importante en la manipulación de materiales estandarizados para la producción explícita de materiales altamente adaptados a su valor en términos de desempeño estructural.

#### ► PROTOTIPO MOBIUS

Un aspecto clave de esta investigación es la instrumentalización de la Tejedora Digital CNC para producir textiles variados y sin costuras que se adaptan a los requisitos estructurales y cualidades táctiles esperadas. El prototipo híbrido-textil de punto elástico Mobius<sup>2</sup> (figura 2) permite ver el juego entre el comportamiento del material a la escala de la puntada, al igual que el comportamiento del sistema en respuesta a las fuerzas de tracción impuestas sobre el tejido (Ahlquist, 2016a). El prototipo

<sup>1</sup> *Inter-looping*: juntas.

<sup>2</sup> Mobius: superficie de un solo lado y un sólo límite.

se aprovecha de la estructura de punto elástico, cuya naturaleza fundamentalmente elástica surge en alternancia entre las puntadas que se forman en la parte delantera y la base de agujas de tejido en la parte posterior de la máquina CNC. Un sesgo ponderado se produce con los puntos de cierre formados en una sola base de agujas que impulsa el textil resultante a realizar un “retroceso” o encogerse de manera natural. Alternando las puntadas en la parte delantera y la base de agujas en la parte posterior de la máquina, se produce una serie de “costillas” que se utilizan comúnmente como puños y cuellos en suéteres, las cuales proporcionan grandes cadenas de elasticidad sin necesidad de usar un hilo elástico que pueda generar fatiga acelerada en el material y dañarlo. [\[Ver Figura 2\]](#)

En el diseño de textiles pretensados sin uso de costura, el patrón de nervaduras sucesivas varía con el fin de dar forma al textil para adaptarse a regiones expandidas o contraídas dentro de los límites de la estructura o varilla en flexión-activa, al igual que en la distribución de las fuerzas de tracción. *Shaping* se define como la capacidad de variar el número de trayectorias dentro de un área específica en un tejido de punto. El comportamiento del sistema y el impacto de la carga de tracción sobre el textil se entienden primero calculando la relación de fuerzas entre las direcciones longitudinal y latitudinal dentro de la plataforma springFORM, desarrollada por el autor para explorar la forma (figura 3).

Cuando el radio es calculado hacia la dirección longitudinal de la malla, un cambio de procesos permite que la estructura de tejido acanalado pueda mantener su naturaleza ondulada dimensional. Las fuerzas son calculadas hacia la dirección longitudinal y para esto es necesario revisar la configuración de las nervaduras para asegurar un cierto grado de ondulación en la superficie. Este concepto para dar forma a las costillas es dado para dotar de propiedades dimensionales mediante el análisis de las longitudes reales y la dirección longitudinal del modelo, utilizando springFORM. Posterior al proceso de exploración formal, se produce un mapa que traza un número aproximado de costillas necesarias en cada punto para realizar la estructura tejida y asegurar así que esta mantenga la dimensionalidad ondulante en momentos de tensión.

[Ver Figura 3]

#### ► PARQUES DE JUEGO SENSORIALES

Inicialmente, como parte del proyecto de investigación de *Superficies Socialsensoriales*, los prototipos integran la capacidad de producir y sintonizar lo táctil, al igual que las cualidades visuales y auditivas de la topología de un sistema híbrido textil complejo, con el fin de generar un entorno sensorialmente sintonizable (figura 4). Una simple niña con autismo y los problemas relacionados con la hiporresponsividad y el procesamiento sensorial, llamada Ara, es estudiada para proporcionar una comprensión específica de la relación entre la regulación espacial, sensorial y la experiencia táctil.

El diseño general y la escala de la superficie de los prototipos se basa en la examinación de los entornos en los que Ara se siente cómoda jugando, la interacción social y momentos en los que ella exhibe una comunicación clara. Cuando existen retos en la propiocepción, un niño usa con frecuencia el tacto como un medio para entender la escala y la forma del entorno que le rodea. En un entorno más pequeño, se puede extraer una descripción completa del espacio y, por lo tanto, es posible proporcionar un mejor entendimiento de la posición y la orientación dentro del espacio. Cuando se orienta adecuadamente dentro de un espacio dado, los movimientos y la comunicación se ven más frecuentes y deliberados.

[Ver Figura 4]

Como una respuesta a la interpretación del comportamiento de Ara y su perfil sensorial, la escala de la estructura global abarca la capacidad de mantenerse en frecuente contacto con todo tipo de superficies. Las configuraciones espaciales también proporcionan bolsillos donde la estimulación de todo el sistema sensorial se puede activar desde la punta del dedo hasta las articulaciones y músculos. La configuración topológica proporciona una serie de espacios multiescalares donde la lógica estructural soporta la dinámica entre una superficie textil de alta elasticidad y la flexión activa de un marco semirígido (figura 5). Aunque la definición geométrica es muy variada en la configuración del marco que contiene el textil, la construcción *in situ* de vigas laminadas de GFRP<sup>3</sup> permite

<sup>3</sup> GFRP: fibra de vidrio.

dotar de una rigidez uniforme a todo el conjunto (Ahlquist, 2015). [Ver Figura 5]

Un objetivo primordial de los prototipos de parques de juego sensoriales fue usar el juego como medio para la incorporación regular de la interacción social esperada y confortable como parte de la experiencia espacial. En el caso de Ara, quien no se comunica verbalmente, la comunicación tiene que ser establecida a través de medios alternativos. Jugar, en este contexto, se orienta tanto para descubrir los medios de comunicación como también para fortalecerse a sí misma a través de experiencias predecibles, positivas y exitosas. En esta investigación, el trastorno del espectro autista no es visto como una discapacidad, sino más bien como una visión única del medio ambiente, en tiempo y espacio, que en algunos momentos puede ser significativamente perjudicial. Estas arquitecturas buscan ser un vehículo para entender la naturaleza de tales interrupciones, con la esperanza de que el niño finalmente pueda aprender las técnicas para reconocer, comprender y gestionar sus propios desafíos sensoriales. De este modo, la arquitectura está definida por la dinámica de evolución que relaciona el comportamiento y la tecnología.

#### ► CONCLUSIÓN

Esta investigación atraviesa muchos campos y conceptos para establecer un marco para la conceptualización, diseño y aplicación de sistemas arquitectónicos materialmente complejos y sistemas dinámicos de respuesta (figura 6). En la definición de *tecnología en reposo*, la *periferia*

es un concepto fundamental en el reconocimiento de lo que es crítico, pero está justo más allá del centro de atención. Una tecnología en reposo permite que la periferia se desplace hacia adelante y hacia atrás con facilidad y sin distracciones. Adicional a esto, la expansión del término *forma*, incluye un acto de compromiso, deformación y transformación sensorial, al adoptar una morfología virtual o una "vitalidad inorgánica... sin forma, indeterminada, lo suficientemente básica para que otra figuración y otras confabulaciones todavía puedan suceder en o pasar a través de ella" (Rajchman, 1998).

Relacionando arquitectura y salud, el medio ambiente en su reflexividad y motivación a la participación física, se convierten en la descripción que se ajusta específicamente y que refuerza positivamente, para hacer posible la cognición sensorial, el juego y la interacción social. [Ver Figura 6]



## REFERENCIAS

- » Ahlquist, S. (2015). Social sensory architectures: Articulating textile hybrid structures for multi-sensory responsiveness and collaborative play. En L. Combs y C. Pery, (Eds.), *Computational Ecologies. Proceedings of the 35th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)* (pp. 262-273). Cincinnati: ACADIA.
- » Ahlquist, S. (2016a). Integrating differentiated knit logics and pre-stress in textile hybrid structures. En M. Thomsen, M. Tamke, C. Gengnagel, B. Faircloth, y F. Scheurer (Eds.), *Modelling Behaviour: Proceeding of the Design Modelling Symposium, Copenhagen, September 2015* (pp. 1-14). Copenhagen: ACADIA.
- » Ahlquist, S. (2016b). Sensory material architectures: Concepts and methodologies for spatial tectonics and tactile responsivity in knitted textile hybrid structures. *International Journal for Architectural Computing*, 14(1), 63-82.
- » Ahlquist, S. y Menges, A. (2013). Frameworks for computational design of textile micro-architectures and material behavior in forming complex force-active structures. En P. Beesley, O. Khan y M. Stacey (Eds.), *Adaptive Architecture: Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)* (pp. 281-292). Waterloo: Riverside.
- » Ahlquist, S., Lienhard, J., Knippers, J. y Menges, A. (2013). Physical and numerical prototyping for integrated bending and form-active textile hybrid structures. En C. Gengnagel, A. Kilian, J. Nembrini y F. Scheurer (Eds.), *Rethinking Prototyping: Proceeding of the Design Modelling Symposium* (pp. 1-14). Berlín: Springer.
- » Allen, S., Delpont, S. M. y Smith, K. (2011). Sensory processing and everyday life. Conferencia presentada en *The National Autistic Society Professional Conference*, Manchester, UK.
- » Ayres, A. J. (2005). *Sensory Integration and the Child*. Torrance, CA: Western Psychological Services.
- » Baranek, G., Watson, L., Boyd, B., Poe, M., Fabian, D. y McGuire, L. (2013). Hyporesponsiveness to social and nonsocial sensory stimuli in children with autism, children with developmental delays, and typically developing children. *Development and Psychopathology*, 25, 307-320.
- » Engel, H. (2007). *Tragsysteme - Structure Systems*. Ostfildern: Hatje Cantz.
- » Foss-Feig, J., Heacock, J. y Cascio, C. (2012). Tactile responsiveness patterns and their association with core features in autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6, 337-344.
- » Iarocci, G. y McDonald, D. (2006). Sensory integration and the perceptual experience of persons with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(1), 77-90.
- » Kranowitz, C. (2005). *The Out-of-Sync Child*. Nueva York: Penguin.
- » Lienhard, J., Ahlquist, S., Knippers, J. y Menges, A. (2013). Extending the functional and formal vocabulary of tensile membrane structures through the interaction with bending-active elements. En H. Boegner-Balz, M. Mollaert y E. Pusat (Eds.), *[RE]THINKING Lightweight Structures, Proceedings of Tensinet Symposium* (pp. 109-118). Estambul: Maya Basim.
- » Lienhard, J., Alpermann, H., Gengnagel, C. y Knippers, J. (2012). Active bending; a review on structures where bending is used as a self-formation process. En *Proceedings of the International IASS Symposium*, pp 650-657.
- » Liss, M., Saulnier, C., Fein, D., y Kinsbourne, M. (2006). Sensory and attention abnormalities in autistic spectrum disorders. *Autism*, 10, 155-172.
- » Stockman, I. (2004). *Movement and Action in Learning and Development: Clinical Implications for Pervasive Developmental Disorders*. Ámsterdam: Elsevier Academic Press.

Sean Ahlquist es Arquitecto y profesor asistente en Taubman College of Architecture and Urban Planning. Hace parte del Cluster de Medios y Sistemas interactivos que conecta la Arquitectura con los campos de la Ciencia de Materiales, Ciencias de la Computación, Arte, Diseño y Música. Su investigación está centrada en material de computación, desarrollando articuladamente estructuras materiales y modos de diseño que permiten el estudio del material y comportamiento espacial.

# PROGRAMACIÓN Y FABRICACIÓN DIGITAL EN LATINOAMÉRICA:

PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS

**Pablo C. Herrera,**  
Presidente SIGraDi  
Profesor Universidad  
Peruana de Ciencias Aplicadas  
[www.sigradi.org](http://www.sigradi.org)  
[pablo@espaciosdigitales.org](mailto:pablo@espaciosdigitales.org)

El XI Simposio Internacional de Arquitectura, que organiza la Universidad Piloto de Colombia en la ciudad de Bogotá, propone discutir el uso computacional desde la práctica profesional con casos de implementación emblemáticos promovidos desde el norte del planeta. Una situación diferente a la implementación latinoamericana que se inició en la academia (Leach y Yuan, 2012b, p. 9). Al mismo tiempo, la implementación no es común a los más de 500 programas de arquitectura que existen sólo en América del Sur. Casi un 10% mantiene una revisión frecuente del tema en sus escuelas y se prefiere experimentar en programas de postgrado. La experiencia del simposio enriquecerá las iniciativas locales no sólo en la práctica, sino que facilitará un punto de partida para la academia local. Ante la carencia de sistematización educativa, *Digital Reveal* se concentra en un momento que la velocidad de implementación tecnológica en arquitectura es mayor al tiempo que toma establecer una propuesta pedagógica (Senske, 2005). Este es un escenario que requiere una planificación de escala diferente. En ese sentido, este ensayo se enfoca en el análisis retrospectivo del uso de programación y fabricación en la educación del arquitecto

latinoamericano desde inicios del siglo XXI, con el fin de buscar mejoras en la experiencia previa.

## ► VISIBILIDAD MÍNIMA EN UN CONTEXTO GLOBAL

En EE. UU. y Europa, la programación en arquitectura evolucionó en conferencias como *Architectures Non Standard* (París, 2003), *Non Standard Praxis* (MIT, 2004), *ACADIA Fabrication* (Toronto, 2004), *Scripting by purpose* (Filadelfia, 2007), *Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling* (Nueva York, 2008) y series de exhibiciones como *Archilab* (Francia, 1999) y los *FABLab* del CBA del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, EE. UU., 2001). En todos, es clara la ausencia de Latinoamérica hasta la segunda década del siglo XXI. Recién en la Bienal de Arquitectura de Beijing, *(Im)material Processes* (Leach y Weiguo, 2008), junto a 58 arquitectos, se convocaron a 5 latinoamericanos establecidos en EE. UU. y Europa. A esto hay que sumar la participación de un único grupo académico proveniente de Chile y Perú. Sin una clara identificación regional, sus resultados resaltaron la técnica y el proceso más no el objeto, con un logro significativo para ambos países; la aproximación a procesos

artesanales se hace evidente (Herrera, 2016), abriendo oportunidades para la arquitectura. En la versión del año 2010, convenciones de fabricación como *sectioning* en mobiliario coincidían con experimentos de sus pares, pero sin alcanzar una escala arquitectónica.

En el 2011, Latinoamérica estuvo ausente en las exhibiciones *Scripting the Future* y *Fabricating the Future* (Leach y Yuan, 2012a, 2012b), que evidenciaron el impacto de la programación y fabricación digital en la práctica profesional.

## ► IMPLEMENTACIÓN DESDE LA ACADEMIA

La implementación se manifestó como consecuencia de tres procesos, dos de ellos migratorios. El primero es la visita de especialistas extranjeros a la región. El segundo es el retorno de estudiantes de maestría y doctorado a sus países de origen (figura 1). El tercero son los autodidactas (Herrera, 2011). [Ver Figura 1]

Iniciado el siglo XXI, el retorno de estudiantes de maestría y doctorado latinoamericanos permitió una primera exploración en la región, empoderando a diferentes universidades en las principales capitales. Una

segunda generación la explorará casi al final de la primera década como consecuencia de la crisis mundial que afectó a los países del norte.

## ► DE LA SINTAXIS ESCRITA A LA GRÁFICA. UNA REALIDAD LATINOAMERICANA

Durante la primera década del siglo XXI se hicieron esfuerzos por usar métodos de programación escrita que promovieron respuestas a una curiosidad ante problemas de diseño, con pocas excepciones a esta afirmación que la hicieron sostenible. Entre el 2006 y el 2009, se registra que en la región (Herrera, 2010) se impone gradualmente el uso de una sintaxis gráfica (Grasshopper) sobre la escrita (Rhinoscript, MEL Script, AutoLISP), a diferencia de los demás continentes.

[Ver figura 2]

En enero de 2008 aparece *Explicit History* para Rhinoceros y en mayo sale la versión bajo el nombre de Grasshopper. En 2009 se realizan los últimos talleres de programación escrita en Bogotá con Daniel Cardoso y en Valparaíso con Marc Fornes. Latinoamérica dirige su mirada a los diagramas y componentes de manera intensa, al tiempo que los chilenos del grupo Dum-Dum traducen al español

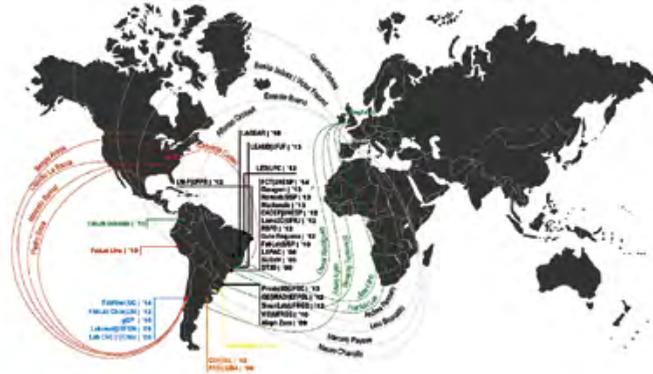


1.



2.

3.



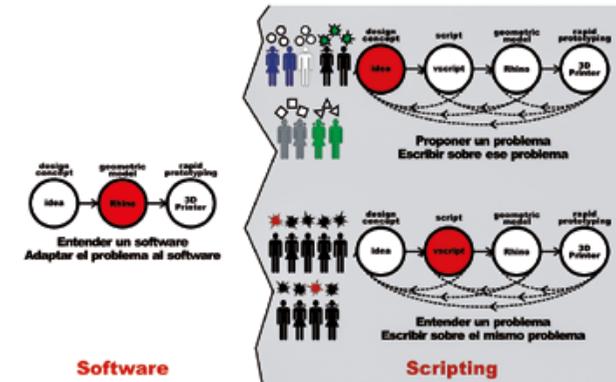
4.



5.



6.



7.

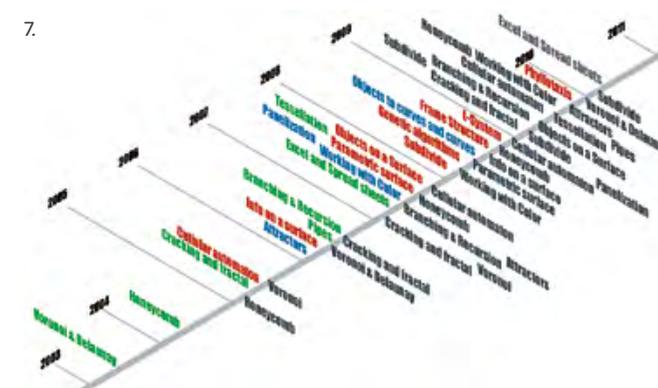


Figura 1. Movimiento migratorio y retorno hacia América del Sur. / Fuente: Herrera, P. Fabricación digital en Latinoamérica: problemas y perspectivas.(2002-2010).]

Figura 2. Porcentaje de usuarios de Rhinoscripting y Grasshopper. / Fuente: Herrera, P. Fabricación digital en Latinoamérica: problemas y perspectivas. (2009-2011).]

Figura 3. Algunos talleres en ciudades de América. / Fuente: Herrera, P. Fabricación digital en Latinoamérica: problemas y perspectivas. (2006-2011).]

Figura 4. Patrones de implementación usando software y scripting. / Fuente: Herrera, P. Fabricación digital en Latinoamérica: problemas y perspectivas.]

Figura 5. Niveles de autoría. Del autor principal al secundario. / Fuente: Herrera, P. Fabricación digital en Latinoamérica: problemas y perspectivas (2003-2011).]

Figura 6. Evolución de blogs y wikis sobre programación en el mundo. / Fuente: Herrera, P. Fabricación digital en Latinoamérica: problemas y perspectivas. (2006-2010).]

la segunda edición del manual Grasshopper Premier. Sólo ese año aparecieron más de una veintena de repositorios de código documentados en Grasshopper Resources, que también surgió el mismo año.

En 2010 los Design Optimization & Fabrication (DOF) son organizados por el colombiano Andrés González, de McNeel Associates, para impulsar el uso de Grasshopper con un énfasis en la región. El panorama de la primera década se ilustra en la figura 3. [Ver Figura 3]

En entrevistas personales, la preferencia por la programación visual apareció incluso en casos donde había una práctica con código escrito. En casos comparativos latinoamericanos, los estudiantes prefieren Grasshopper y descartan Rhinoscripting, porque lo consideran obsoleto (Leitao, Santos y Lopes, 2012, p. 160). Ocurrió lo mismo con AutoLISP porque a los estudiantes les tomó más tiempo aprender la sintaxis escrita (Celani y Verzola, 2012). Los autores determinaron que el aprendizaje de programación escrita es lento, pero se recupera al enfrentarse a problemas más complejos, especialmente para la gestión y modificación de soluciones.

#### ► PROGRAMAR PARA DISEÑAR

En los EE. UU., la fabricación en arquitectura motivó la programación para automatizar la escala y ensamble de los modelos, y luego se implementó en diseño. Al contrario, en Latinoamérica, durante la primera década de este siglo, el elevado costo de equipos mínimos como impresoras 3D, laser de corte

o equipos CNC en cantidades suficientes para el número de estudiantes limitó su implementación. Por esta razón, la programación en diseño vino antes que la fabricación, con énfasis en la exploración de forma y espacio. Hasta la segunda década, cuando caducaron las patentes de impresoras 3D y los precios se redujeron (Herrera y Juárez, 2013), hubo muy pocas experiencias previas.

#### ► PROBLEMAS ANTES Y DESPUÉS DE LAS IMPLEMENTACIONES

Algunas escuelas latinoamericanas comprenden que análogo y digital son esenciales si se integran, superando implementaciones que prefieren sólo una de ellos. Sin embargo, pocos advierten diferencias entre técnicas computarizadas y computacionales. En otro extremo, aún existen talleres de diseño y otros de informática (asociados a la representación automatizada) que se imparten como cursos independientes. Desde allí, la decisión sobre cuándo y cómo integrar talleres y tecnologías digitales la experimentan los propios estudiantes en un proceso de ensayo y error, sin encontrar respuesta en la práctica profesional local, que generacionalmente tampoco entiende el beneficio computacional. Así, los estudiantes no advierten como las técnicas de programación y fabricación permiten explorar posibilidades y reuso de sus propios procesos con líneas de código o diagramas cuando integran el contexto y performance en su práctica.

En Latinoamérica, los emprendimientos profesionales se discuten muy poco entre pares

y académicos por el costo de traslado entre países, a pesar de que SIGraDi reúne cada año a más de 150 académicos en temas diversos de impacto para la región. No todas las experiencias sobre fabricación digital en arquitectura se documentan, considerando que entre el 2004 y 2014 sólo el 11% de la producción científica mundial correspondía a Latinoamérica (Luli y Minto, 2015, p. 425). Otras iniciativas se quedan en la práctica, y las pocas exhibiciones como *Homo Faber: Digital Fabrication in Latin America* (Sperling y Herrera, 2015) no alcanzan a registrar en su totalidad el avance de las escuelas de arquitectura y urbanismo en la región. Esto es una agenda que debe ser sostenible y puesta en discusión. Con un crecimiento exponencial de alumnos y escuelas que supera los promedios europeos y norteamericanos, las universidades están limitadas por problemas de gestión e inversión en tecnología, con la incertidumbre de si es o no correcto implementarlas, y asumir riesgos no es una constante común.

#### ► TIPOS DE ESTUDIANTES Y TIPOS DE TALLERES

Programar tiene una enorme ventaja sobre sólo aprender a usar un software. Las lecciones de las primeras implementaciones impactaron de diferentes maneras a los participantes. Los problemas se centran en los tipos de estudiantes y talleres. Para los estudiantes de los primeros años encontramos que al asociar aprender a programar y diseñar producía desventajas. Un problema de diseño bien definido tiene varias soluciones y al darle la respuesta del

diseño y el código limitamos su pensamiento computacional. Para el caso de los talleres se identificaron dos patrones que se ilustran en la figura 4, según el tipo de implementación: aquellos tutores que potenciaban la solución a un problema propuesto por el estudiante y aquellos estudiantes que modificaban un problema propuesto por el tutor. [Ver Figura 4]

#### ► PROBLEMAS DIRECTOS

Un primer problema que afecta directamente la implementación está asociado con una carencia de razonamiento cuantitativo y matemática. Hasta la aparición de entornos de programación de bajo costo usados en diseño, como Grasshopper y Dynamo, que requieren matemática para producir código de manera efectiva, no se cuestionó su carencia en la región, considerando que, en una cultura de programación y arquitectura, las matemáticas no son opcionales, sino esenciales y positivas (Burry, 2011, p. 58-62). Un segundo problema directo es la advertencia de Alexander (1964, p. 52) sobre el computador: se hace muy poco si antes no ampliamos el conocimiento y comprensión teórico de la forma y función. Resnick (1996, p. 255) sostuvo que el diseñador debe conocer mejor su área que la tecnología, antes de implementar técnicas computacionales para aprender acerca de un área particular de las ciencias o las matemáticas.

#### ► PROBLEMAS INDIRECTOS

En general, los problemas indirectos se asocian con la enseñanza tradicional de la arquitectura. Lyon (2007, p. 12) sostiene que “este modelo

no solo limita la producción creativa en el ámbito de la práctica, sino que instrumentaliza y empobrece el conocimiento de la disciplina". El pensamiento computacional tiene una manera de abordar un problema porque potencia el proceso y el resultado es consecuencia de la variabilidad e interacción de sus partes, lo que permite hacer modificaciones y análisis de otras posibilidades. Un segundo problema indirecto es asumir que enseñar a programar a estudiantes de arquitectura es igual que enseñar un software interactivo. Esto limita la resolución de nuevas experiencias en un contexto diferente al del aula, donde el control lo asume el tutor. Una implementación bajo una fuerte asesoría produce un resultado guiado por el tutor.

#### ► PERSPECTIVAS

##### Distribuir el conocimiento

La capacidad de reproducir código es infinita y limitada a la vez. Infinita porque depende de cómo reusamos el código al pasar de un autor primario a otro que lo adapta a sus necesidades (figura 5). Raymond (1999, p. xiii) sostiene que "a mayor cantidad de revisores, los errores en un problema serán encontrados con facilidad". En donde "el código fuente evoluciona constantemente y no es un objeto acabado ni fijo, porque mantiene una relación recíproca entre solución y descubrimiento de problemas" (Sennett, 2009, p. 39). [Ver Figura 5]

Este proceso se autoreguló con una generación que promovió la producción de recursos en línea para aprender código (Herrera, 2013), impulsada por webs, blogs y wikis (figura 6).

El avance del norte durante la primera década del siglo se resume en técnicas de fabricación clasificadas por Iwamoto (2009), como Sectioning, Tesellating, Folding, Contouring y Forming o las del tipo Bricks, Shapes, Structures, catalogadas por Sass (2010). [Ver Figura 6]

La capacidad de reproducir código es limitada cuando no se considera una estructura que organiza el código. En una etapa inicial de aprendizaje, la preferencia por Grasshopper es mayor, pero no hay modificación de código por los estudiantes, porque se busca un resultado y no importa el proceso. Davis, Burry y Burry (2011, pp. 363-364) revisaron 1982 códigos producidos por 575 usuarios de Grasshopper y descubrieron lo difícil de reutilizarlos. En un 97,5%, los componentes no estaban agrupados y un 56% del total no identificaba el nombre de sus parámetros, lo que limitó la comprensión de su estructura. Son problemas que debemos anticipar y evaluar.

#### ► INVERSIÓN DEL ESTADO Y POLÍTICAS DE IMPLEMENTACIÓN

En general, los programas académicos de la región carecen de una política de sistematización que promueva el uso de tecnologías emergentes, lo que limita su incorporación. Así mismo, sin estabilidad en sus políticas educativas, la actualización de equipos tampoco se dará, si se considera que la distancia generacional entre aquellos que experimentan con tecnologías y los que las aceptan se diluye entre la estabilidad y la disrupción.

Se hace muy poco si las autoridades universitarias no planifican proyectos a largo plazo junto con líneas de investigación según la realidad de cada país, porque es desde donde viene la inversión. Algunos programas de incentivo económico, como el Programa de Mejoramiento de la Calidad y la Equidad de la Educación Superior (MECE-SUP), en Chile, promovieron talleres y compra de equipos. Otras iniciativas, como la del Ministerio de Educación en Brasil, forzaron a impartir el curso *Informática aplicada a la Arquitectura*, facilitando la implementación de laboratorios de cómputo en sus programas (Soares, 2012, p. 257). Estas situaciones de planificación nacional están ausentes en la región andina, así como en Uruguay y Paraguay. Argentina es el primer caso que acortó la alfabetización computacional con la Ley de Educación Nacional. Comprendieron que "la programación es parte troncal de una disciplina académica más amplia, que integra saberes para formular soluciones efectivas y sistemáticas a diversos tipos de problemas lógicos" (Consejo Federal de Educación de Argentina, 2015, p. 3). En Argentina la enseñanza y el aprendizaje de la programación son de importancia estratégica en el Sistema Educativo Nacional, para fortalecer el desarrollo económico y social de la Nación. Allí se creó el Programa Nacional de Inclusión Digital Educativa, con el fin de nuclear a las escuelas públicas de gestión estatal, primarias y secundarias que estén llevando adelante experiencias de programación o que deseen hacerlo. Ese es un alcance que debe discutirse a nivel regional.

Situar esta experiencia es un abanico de oportunidades para adoptar o descartar, cada uno tiene la capacidad de decidir en qué momento asume el riesgo de programar el código de su propio destino.

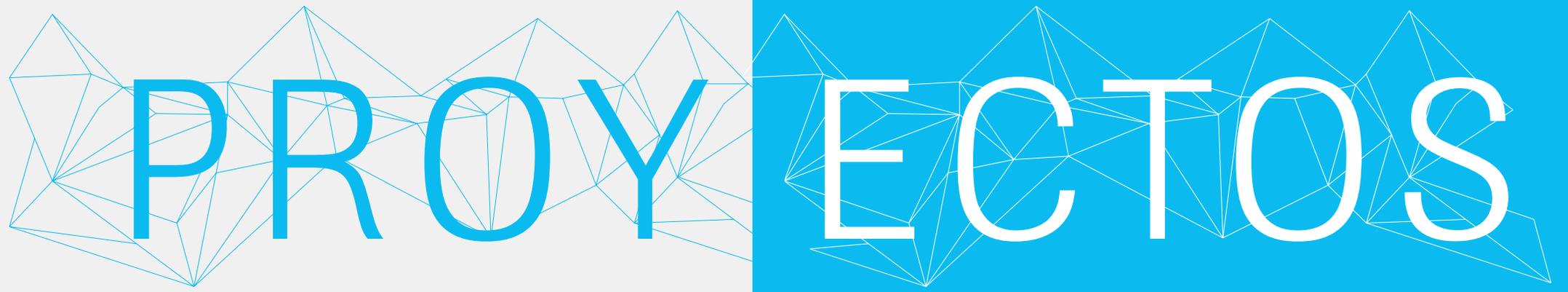


#### ► REFERENCIAS

- » Alexander, C. (1964). A much Asked Question about Computers and Design. En *Architecture and the Computer, First Boston Architectural Center Conference* (pp. 52-56). Boston: Boston Architectural Center.
- » Burry, M. (2011). *Scripting Cultures: Architectural Design and Programming*. West Sussex: Wiley.
- » Celani, Gabriela. (2003). *CAD Creativo*. Rio de Janeiro: Editora Campus.
- » Celani, G. y Verzola, E. (2012). CAD Scripting and visual programming languages for implementing computational design concepts: A comparison from a pedagogical point of view. *International Journal of Architectural Computing*, 10(1), 1-137.
- » Consejo Federal de Educación de Argentina. (2015). Resolución 263/15.
- » Davis, D., Burry, J. y Burry, M. (2012). Understanding visual scripts: Improving collaboration through modular programming. *International Journal of Architectural Computing*, 9(4), 361-375.
- » Herrera, P. (2007). Solución de problemas relacionados al diseño de superficies complejas: Experiencia de programación en la educación del arquitecto. *Proceedings of the 11th Iberoamerican Congress of Digital Graphics*, México.
- » Herrera, P. (2010). Disruptive technologies: scripting and digital fabrication in Latin America. *Proceedings of the 14th Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, Bogotá, Colombia.

- » Herrera, P. (2011). Rhinoscripting y Grasshopper a través de sus instructores: un estudio de patrones y usos. *Proceedings of the 15th Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, Santa Fe, Argentina.
- » Herrera, P. (2013). Reutilizando códigos en arquitectura como mecanismos de información y conocimiento: De la programación escrita a la Visual. En D. Rodríguez, M. Tosello y D. Sperling (Eds.), *Didáctica proyectual y entornos postdigitales. Prácticas y reflexiones en escuelas latinoamericanas de Arquitectura y Diseño* (pp. 238-253). Mar del Plata: Editorial de la Universidad del Mar del Plata.
- » Herrera, P. (2016). Digital fabrication and revival craft in Latin America. Alliance between designers and artisans. En Y. Kikuchi, W. S. Wong y T. Lin (Eds.), *Making Transnational Contemporary Design History*. Taipei: National Taiwan University of Science and Technology.
- » Herrera, P. y Juaréz, B. (2013). Fabrication laboratories: Problems and possibilities of implementation in Latin America. *Proceedings of the Fab 9 Research Stream*, Yokohama, Japón. Recuperado de <http://www.fablabinternational.org/fab-lab-research/proceedings-from-the-fab-9-research-stream>
- » Iwamoto, L. (2009). *Digital Fabrication*. New Jersey: Princeton Architectural Press.
- » Leach, N. y Weiguó, X. (Eds.) (2008) *(Im)material Processes: New Digital Techniques for Architecture*. Catalogo III Bienal de Arquitectura de Beijing. Beijing: Tsinghua University.
- » Leach, N. y Yuan, P. (2012a). *Fabricating the Future*. Shanghai: Tongji University Press.
- » Leach, N. y Yuan, P. (Eds.). (2012b). *Scripting the Future*. Shanghai: Tongji University Press.
- » Leitao, A., Santos, L. y Lopes, J. (2012). Programming languages for generative design: A comparative study. *International Journal of Architectural Computing*, 10(1), 139-162.
- » Luli, E. y Minto, M. (2015). Digital fabrication in Brazil. Academic production in the last decade. *16th International Conference CAAD Futures 2015*, São Paulo, Brasil.
- » Lyon, E. (2007). Foro IV: Epistolar. *Revista de Arquitectura* 15(1), 8-13.
- » Raymond, E. S. (1999). *The Cathedral & the Bazaar*. Sebastopol, CA.: O'Reilly Media Inc.
- » Resnick, M. (1996). New paradigms for computing, new paradigms for thinking. En M. Resnick y Y. Kafai (Eds.), *Constructionism in Practice. Designing, Thinking, and Learning in a Digital World* (pp. 255-267). Cambridge: MIT Press.
- » Sass, L. (2010). Printing architecture: Digitally fabricated buildings [Keynote Lecture] *14th Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, Bogotá, Colombia.
- » Sense, N. (2005) Fear of code: Approach to integrating computation with architectural design [Tesis de M.Sc], MIT, Cambridge, EE. UU.
- » Sennett, R. (2009). *El Artesano*. Barcelona: Anagrama. (Traducido de *The Craftman*. New Haven: Yale University Press, 2008)
- » Sperling, D. y Herrera, P. (2015). *Homo Faber: Digital Fabrication in Latin America*. São Carlos: Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- » Soares, L. (2012). EduCAAD: An X-ray of CAAD education in Brazil. *Proceedings of the 16th Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, Fortaleza, Brasil.

Pablo C. Herrera desarrolla talleres y conferencias donde incorpora tecnologías digitales emergentes en América Latina, y desde ese punto, el uso de técnicas de auto-aprendizaje en orden de mejorar tradiciones y patrones locales acorde a la cultura y la realidad. Ha coordinado e investigado sobre los problemas de espacio y forma usando algoritmos y programación, estableciendo desde 2006 la implementación de estas técnicas en muchas universidades de América Latina y con estudiantes de postgrado de diversas disciplinas de Estados Unidos y Europa.



PROYECTOS

# ENVOLVENTES PARAMÉTRICAS

Rodrigo Velasco  
Editor

Una de las partes del edificio donde más se hace evidente el uso de procesos y herramientas computacionales en su diseño y construcción es su envolvente. Allí confluyen aspectos medio-ambientales, estructurales y expresivos, y en su *proyección* se vienen implementando cada vez más métodos de parametrización, muchas veces apoyados por datos de simulaciones, e incluso procesos de optimización. Las “envolventes paramétricas”, que hace pocos años podría haberse entendido como una expresión relacionada exclusivamente con el campo de las Matemáticas, hoy se ha popularizado dentro del campo de la Arquitectura. Por un lado, el término envolvente, a diferencia de las particulares definiciones de fachada y cubierta, da a entender un límite difuso y heterogéneo, si no dinámico, al menos configurador de un espacio flexible a ser definido por factores medio-ambientales, tecnológicos y funcionales particulares. Por otro lado, el concepto de parametrización, aunque inherente a la computación en general y a sus aplicaciones al diseño, no era normalmente explícito en las herramientas utilizadas en la Arquitectura, como lo era en otras áreas tales como el Diseño mecánico. Este concepto, sin embargo, se ha venido popularizando entre

arquitectos desde hace algo más de diez años, gracias a la aparición de *plug-ins* como *Generative Components*<sup>1</sup> de Bentley, *Grasshopper*<sup>2</sup> de McNeel, y más recientemente *Dynamo*<sup>3</sup> de Autodesk.

El área de Envolventes Paramétricas comienza en el Programa de Arquitectura de la Universidad Piloto en el año 2008. Con la aparición de asignaturas electivas como Geometría Natural y Diseñar-Fabricar, acompañadas por el semillero de investigación Tecnología Expresiva, los estudiantes comenzaron a hacer trabajos con herramientas de diseño paramétrico aplicados a fachadas. Sin embargo tenemos que decir que la investigación se inaugura formalmente en el año 2011 con Eco-envolventes (2011-2013) como primer proyecto importante. Eco-envolventes buscaba encontrar soluciones apropiadas para envolventes arquitectónicas en climas cálidos húmedos, en términos de confort ambiental, eficiencia estructural y constructiva, así como bajos índices de impacto ambiental en el ciclo de vida, todo esto llevado

<sup>1</sup> <https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/generativecomponents>  
<sup>2</sup> <http://www.grasshopper3d.com/>  
<sup>3</sup> <http://www.autodesk.com/products/dynamo-studio/overview>

| Envolventes Paramétricas   |            |
|--|------------|
| Revista Alarife: <i>Materia y sostenibilidad</i><br>(2008 - Hasta la fecha)<br>Semillero Tecnología Expresiva.   | PB<br>2007 |
| Herramientas digitales en la formación académica, dentro del programa de Arquitectura de la UPC<br>(Finaliza 2010)   | IN<br>2009 |
| Eco - envolventes<br>(Finaliza 2012)   | IN<br>2010 |
| ECAADE REGIONAL, Liubliana, SL ( <i>Education and research in computer aided architectural design in Europe</i> ): Ecoenvolventes: <i>A parametric design approach to generate and evaluate façade configurations for hot and humid climates</i> | PB<br>2011 |
| Realidad Aumentada: <i>Towards a Generative and Augmented View of Arch. Representation</i><br>(Finaliza 2013)  | IN<br>2012 |

PB: Publicaciones  
SI: Semillero de investigación  
IN: Investigación  
EX: Exposición

a condicionantes de diseño y a la formulación de un modelo paramétrico único, ligado a simulaciones de diferentes tipos. Durante los tres años de investigación del proyecto se produjeron varias publicaciones, y algunos proyectos de grado como se muestra en la línea de tiempo. Posteriormente, desde el año 2013 hasta el 2015, el proyecto Herramientas Digitales en Arquitectura promovió la difusión de conceptos básicos a los estudiantes, comenzó a formular áreas de especialización en el programa, y publicó artículos sobre fachadas.

En esta sección encontramos tres tipos de trabajo, cada uno representado por proyectos nacionales e internacionales. El primer tipo se refiere a trabajos de práctica profesional, que implicaron la realización de prototipos o construcciones completas. De allí se hizo una curaduría y se seleccionaron los proyectos: *Fachada para el de Emerson College de Los Angeles Center: Panelización compleja mediante algoritmos basados en agencia* realizado por Satoru Sugihara de ATLV en Los Ángeles y *Sistema plegado respondiendo a factores lumínicos, estructurales y de fabricación para edificio de oficinas* por César Díaz de Frontis3D en Bogotá. El segundo tipo de proyectos es de

corte investigativo, pues incluye nuevas propuestas de diseño y métodos de trabajo, donde se expone *Fruncido Robótico Reticular: una interpretación contemporánea de procesos textiles y su aplicación como envolventes arquitectónicas* por Andrew Saunders de la Universidad de Pennsylvania en colaboración con Robofold, *Procesos de análisis ambiental y modelado paramétrico: un método diagramático de diseño*, por Camilo Cifuentes de la Universidad de la Salle en Bogotá y *Sistema de cortasoles responsivos soportados en el uso de herramientas digitales* por Rodrigo Velasco de la Universidad Piloto de Colombia y Frontis 3D. Finalmente, se incluyen dos trabajos exploratorios desarrollados por estudiantes dentro de asignaturas académicas, donde se incluye *Responsive Skins: Exploraciones de diseño por estudiantes del Departamento de Arquitectura*, Fabiano Continanza y Jimena Araiza de la Universidad Iberoamericana (UIA) en Ciudad de México, e *Innovación en envolventes cerámicas: Prototipado análogo vs. Prototipado digital* por Ramón Galvis y Xiomara Díaz de la Universidad Francisco de Paula Santander de Cúcuta, Colombia.

| Envolventes Paramétricas  |            |
|---|------------|
| ECAADE REGIONAL, PORTO, PORTUGAL ( <i>Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe</i> ): <i>Notes on the development of a parametric design process for a brise-soleil system</i>                                   | PB<br>2013 |
| ARCC ( <i>Architectural Research Conference</i> ) Charlotte, USA: <i>Visualizing the Expressive Use of Technology in the Design of Parametrically Generated Eco-Envelopes</i> , ARCC  |            |
| EAEA, Milan, IT ( <i>Envisioning Architecture, Design, Evaluation, Communication</i> ): <i>Visualizing Building Performance in the Design of the Envelope</i>   |            |
| EAEA, Milan, IT ( <i>Envisioning Architecture, Design, Evaluation, Communication</i> ): <i>Visualizing Building Performance in the Design of the Envelope</i>   |            |
| SIGRADI, Valparaiso, CL ( <i>Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital</i> ): <i>Customizable volumetric high performance brise-soleil system based on the use of planar faces</i>   |            |
| Fortalecimiento Académico - Investigativo de la línea Institucional "Innovación y Tecnología" en el Programa de Arquitectura<br>(Finaliza 2016)   | IN<br>2016 |
| Artificial Intelligence For Engineering Design, Analysis And Manufacturing: <i>Notes on the design process of a responsive sun-shading system: A case study of designer and user explorations supported by computational tools</i>              | PB<br>2015 |
| Computer - Aided Architectural Design Futures. The Next City - New Technologies and the Future of the Built Environment: <i>Dynamic Façades and Computation: Towards an Inclusive Categorization of High Performance Kinetic Façade Systems</i> |            |
| Seminario Internacional de Arquitectura: <i>The Digital Reveal: Arquitectura en la era Post-Digital</i>   | PB<br>2016 |

# PANELIZACIÓN COMPLEJA MEDIANTE ALGORITMOS BASADOS EN AGENCIA

Fachada para el Emerson College de Los Angeles Center<sup>1</sup>

En este proyecto se demuestra la utilización de un método computacional para el diseño de fachadas complejas con eficiencia en su fabricación y construcción, con la integración de algoritmos *top-down* de panelización y algoritmos *bottom-up*<sup>2</sup> basados en agentes. Las técnicas de diseño computacional *top-down* son eficaces para generar geometrías, explorar sus calidades estéticas, continuidad y complejidad, pero tienden a causar problemas en cuanto a viabilidad y eficiencia en la fabricación, el montaje y el costo de los componentes generados. Al integrar técnicas *top-down* como panelización paramétrica y algoritmos de pre-racionalización que permiten obtener geometrías complejas y continuas, con otra *bottom-up* como algoritmos basados en agentes, es posible integrar propiedades de racionalización a la geometría de los paneles, permitiendo mejorar la eficiencia constructiva de la fachada, sin afectar las cualidades de continuidad y complejidad previstas en su diseño

<sup>1</sup> En este contexto, se denomina agencia a la capacidad que tiene un ente para actuar en un medio determinado.

<sup>2</sup> *Top-down* (de arriba hacia abajo) y *bottom-up* (de abajo hacia arriba) son dos estrategias usadas en ciencias de la computación para el procesamiento de datos. La primera implica la estructuración de datos en un todo, para luego desarrollar los aspectos específicos de cada parte, mientras la segunda implica el desarrollo detallado de procesos de una parte, para luego ser replicados en otras partes hasta formar un sistema.

Este método de diseño computacional integrado se aplicó para el diseño de la fachada del patio en el proyecto de *Emerson College* del *Los Angeles Center*. La fachada está conformada por aproximadamente 3.000 paneles plegados en aluminio. El proceso de diseño computacional de esta fachada combina un algoritmo de plegado para generar la forma de los paneles, la pre-racionalización de su geometría desplegada para ubicarse sobre las láminas de donde se cortan y la variación de formas del panel, con otro algoritmo basado en agentes que simula la interacción física de partículas y campos de fuerza para generar la disposición final de los paneles.

Estas simulaciones físicas actúan a manera de una optimización multi-objetivo para evitar colisiones de los paneles, satisfacer los límites de densidad (mínimos y máximos), las densidades de elementos por cada nivel de piso considerando la experiencia del usuario al caminar por el pasillo, patrón estético en términos de densidad y geometría, así como el porcentaje de apertura requerido para la evacuación de humo.

El proyecto demuestra que el método de diseño computacional integrando algoritmos *top-down* para panelización y pre-racionalización de manera conjunta con algoritmos *bottom-up* basados en agentes, es eficaz para lograr la realización

## Satoru Sugihara

Docente de estudios visuales en el Southern California Institute of Architecture y fundador de ATLV <http://atlv.org> [contact@atlv.org](mailto:contact@atlv.org)

de proyectos, sin perder la integridad del diseño y la intención estética de la continuidad y la complejidad en la formación geométrica.

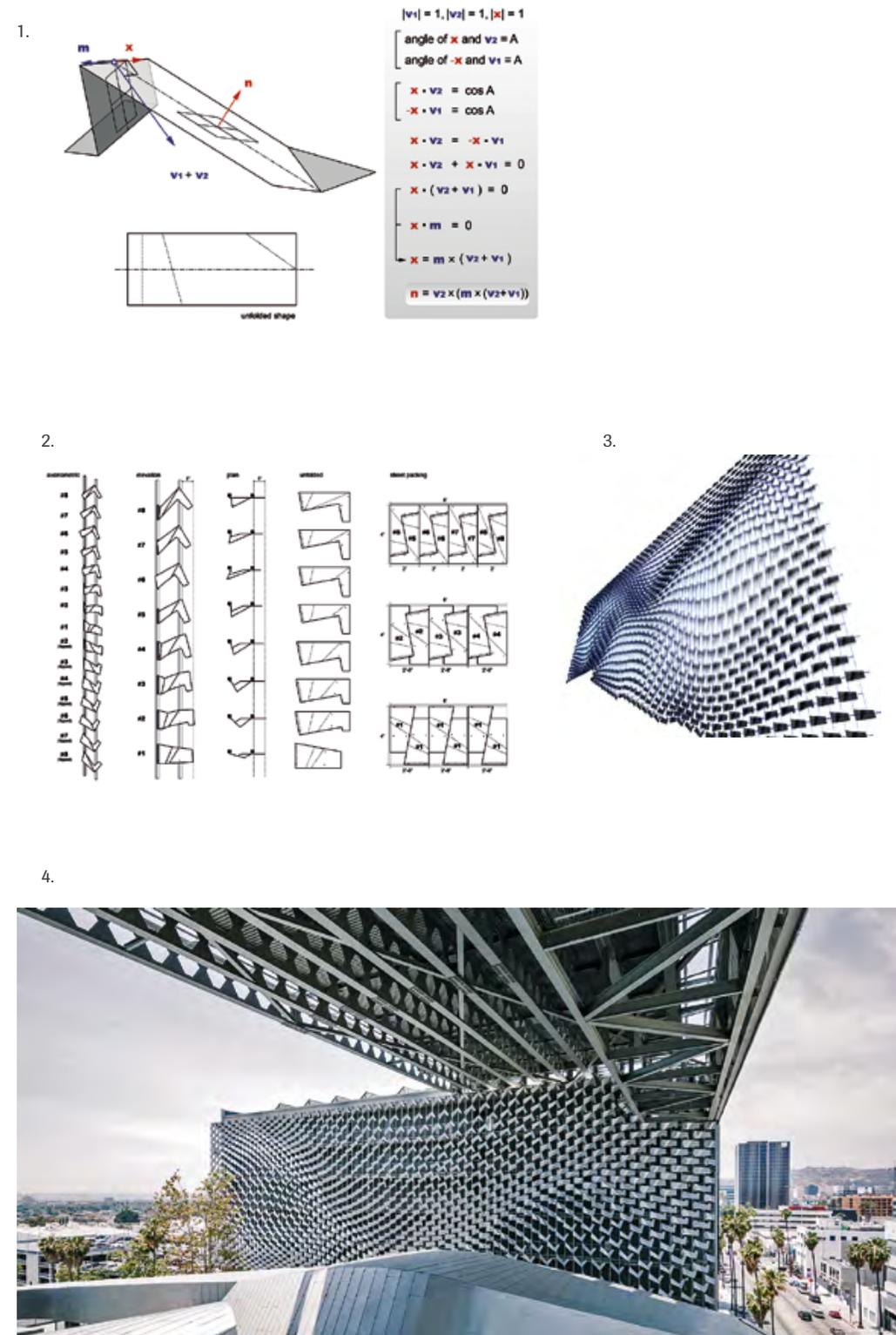


Figura 1. Algoritmo para plegado de paneles. / Fuente: Morphosis, ATVL. (2014).

Figura 2. Diagrama de pre-racionalización de paneles. / Fuente: Morphosis, ATVL. (2014).

Figura 3. Simulación de fuerzas para configuración de paneles. / Fuente: Morphosis, ATVL. (2014).

Figura 4. Fachada del Emerson College, Los Angeles Center. / Fotografía, Watanabe, T. (2014).

# SISTEMA PLEGADO

Respondiendo a factores lumínicos, estructurales y de fabricación para edificio de oficinas.

Este proyecto se conforma a partir de una serie de módulos agrupados que generan un tejido continuo de rombos inclinados en diferentes posiciones, permitiendo permeabilidad visual y asegurando protección solar al espacio interno que protege. Estos elementos fueron diseñados teniendo en cuenta diferentes factores funcionales que determinan el resultado formal del proyecto.

El proyecto responde a cuatro parámetros generales de variación (apertura, profundidad, perforaciones, largo) los cuales responden a un criterio de evaluación económica y funcional, determinando la viabilidad del mismo. El proyecto busca mantener un equilibrio entre la funcionalidad de la fachada, una visual impactante y un balance financiero que entregue el resultado más óptimo sin la necesidad de sacrificar ninguna de las tres determinantes (funcionalidad, visual, economía).

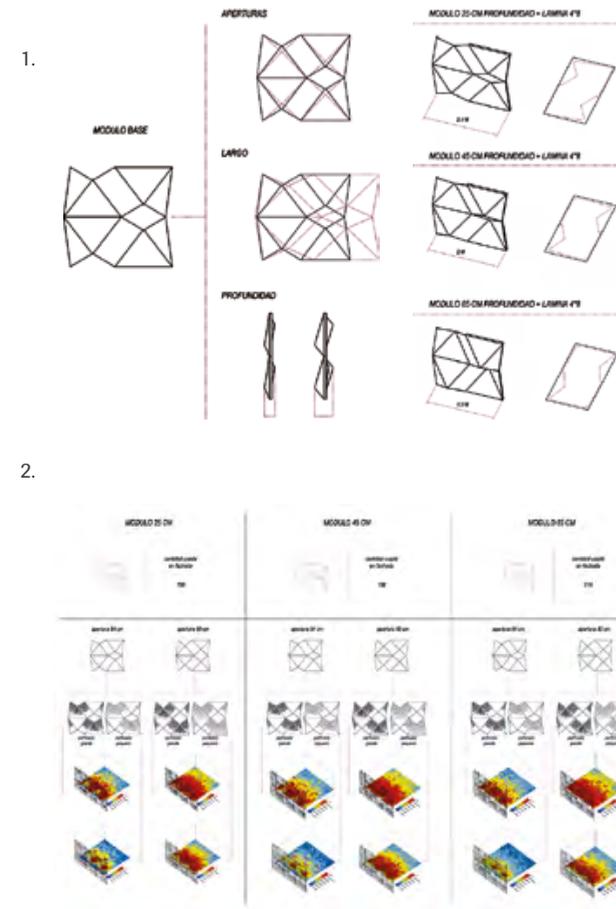
Las piezas se fabrican en lámina de acero galvanizado. Se busca aprovechar el máximo de área permitida por el formato estándar de fábrica mediante la relación de proporciones en ancho, apertura y largo. Cada cambio en las diferentes variables formales influye en los otros para asegurar que

el desarrollo de la lámina no sobrepase el área trabajable, los ángulos de apertura y profundidad influyen en la iluminación interna del espacio de oficinas, para el cual se busca mantener un mínimo de 1.000 luxes internos (en un área de evaluación de 5x5 metros). Para asegurar el paso de iluminación satisfactorio, se realizaron diferentes análisis lumínicos en *Ladybug*, los cuales proporcionan un punto de partida para la toma de decisiones sobre las variaciones a aplicar en las densidades de perforación sobre diferentes caras de cada módulo plegado.

Para fines de evaluación y toma de decisiones en el modelo de diseño se realiza una matriz de evaluación en la cual se ponen a prueba tres variaciones iniciales que determinan un punto de partida para las modificaciones subsiguientes. Las variaciones iniciales se diferencian morfológicamente por la profundidad y ancho del módulo, cada una de estas se evalúa con dos tipos de inclinación y por último con tres tipos de densidad en perforación. Los análisis realizados para cada una de las variaciones es de carácter lumínico (insolación, luxes en el espacio interno), estructural (puntos de deformación de la lámina) mediante el uso de *Karamba* y

**César Díaz**  
 Coordinador de diseño en Frontis3D  
 diseño@frontis3d.co www.frontis3d.co

una evaluación de cantidades de material utilizado (y desperdiciado) para cubrir el área total de fachada. El fin de esta metodología de evaluación es obtener el resultado más balanceado que responda a las tres determinantes principales (funcionalidad lumínica, visual y economía) manteniendo la viabilidad constructiva del proyecto.



**Figura 1.** Tipos de variación y resultados de desarrollo sobre material. / Fuente: Frontis3d. (2016).

**Figura 2.** Cuadro de simulaciones lumínicas de acuerdo con variables de apertura y perforación. / Fuente: Frontis3d. (2016).

**Figura 3.** Proceso de doblado para prototipo. / Fuente: Frontis3d. (2016).

**Figura 4.** Imagen del sistema de fachada puesto en el edificio. / Fuente: Frontis3d. (2016).

## FRUNCIDO<sup>1</sup> ROBÓTICO RETICULAR

Una interpretación contemporánea de procesos textiles y su aplicación como envolventes arquitectónicas

Gottfried Semper (1851), arquitecto e historiador alemán del siglo XIX, alegó que los textiles son la madre de todas las artes, que influyen en todas las ramas de las artes técnicas, y que por esto son el origen de todas las formas arquitectónicas básicas. En su obra *El estilo en las artes técnicas y tectónicas* (2013)<sup>2</sup> trazó metódicamente la influencia de motivos textiles en diversas formas y procedimientos de fabricación para materiales más permanentes como la cerámica, la tectónica (carpintería) y la estereotomía. En parte, el trabajo fue una crítica a los procedimientos de bajo costo para la simulación industrial de materiales (comunes en la época), tales como la fundición, el estampado y el moldeo. Para Semper, estos procesos de fabricación eran paradójicamente indiferentes a la continuidad simbólica requerida para la reconstrucción de cualquier forma tectónica.

La crítica de Semper encuentra hoy una nueva relevancia gracias a las actuales posibilidades de integración del diseño y la fabricación mediante el uso de tecnologías CAD-CAM, y particularmente de brazos robóticos industriales, que permiten desafiantes procesos de construcción industrial a escala arquitectónica. Los brazos robóticos con seis ejes de movimiento permiten trabajar materiales en toda la extensión de su ámbito expresivo. Como una proyección contemporánea del marco tectónico de Semper, el Fruncido Robótico Reticular (FRR)<sup>3</sup> explora las cualidades expresivas del pliegue de láminas metálicas mediante la incorporación de las técnicas de fruncido de costura a procesos de plegado robótico.

El FRR presenta un método para la transposición de las técnicas de manipulación de textiles a materiales más rígidos y a escala arquitectónica, a través de plegado y curvado robótico de láminas metálicas planas. Al utilizar el proceso de manera reticular, textiles flexibles sirven como un modelo análogo para

**Andrew Saunders**  
Profesor asociado de la Universidad de Pensilvania en colaboración con RoboFold<sup>1</sup>  
<http://andrewsaunders.com/>  
[asaun@design.upenn.edu](mailto:asaun@design.upenn.edu)

la producción de relieves profundos y curvaturas complejas utilizando materiales rígidos. En este contexto, las propiedades geométricas intrínsecas de las superficies regladas son aprovechadas para la racionalización de procesos de fabricación robóticos. El proceso de FRR permite la transferencia de conocimiento cultural de un medio a otro, mediante la transposición de técnicas y reglas únicas para cada medio. De esa manera, los diseños resultantes no se evalúan en términos de si se “ven” como el textiles fruncidos, sino en términos de si el metal “se comporta” como ellos. Al mismo tiempo, el proceso de transposición proporciona una expresión estética única, dada por las características geométricas y físicas del material y el proceso de fabricación.

**Figura 1.** Simulación del proceso de fabricación. / Fuente Saunders, A., Robofold. (2013).

**Figura 2.** Maqueta de agrupación. / Fuente Saunders, A., Robofold. (2013).

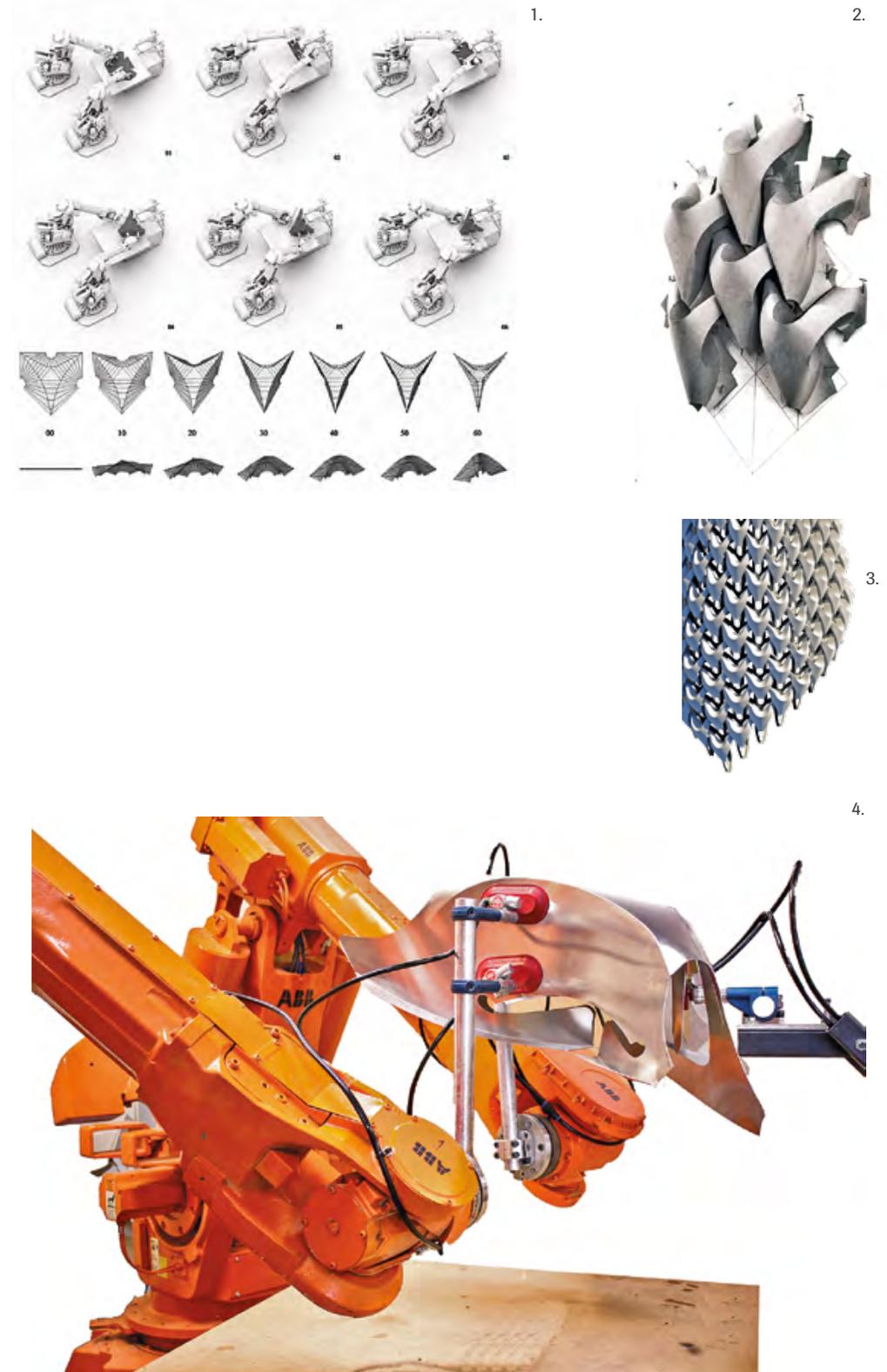
**Figura 3.** Configuración de conjunto. / Fuente Saunders, A., Robofold. (2013).

**Figura 4.** Detalle de armado robótico. / Fuente Saunders, A., Robofold. (2013).

<sup>3</sup> FRR es una colaboración de Andrew Saunders y RoboFold Ltd, patrocinada por el *Robert S. Brown's 52 Fellows Program*. Equipo de diseño: Andrew Saunders, Sahar Mihandoust, Guo Huanu, Jessica Collier, Elizabeth Sammartino, Mateo Vogel. Equipo RoboFold: Gregory Epps, Ema Epps, Florent Michel, Jegg Dudley.

<sup>1</sup> En este contexto, fruncido hace referencia al plegado de telas mediante pliegues paralelos, una técnica de costura comúnmente empleada para permitir deformaciones y alargamientos de piezas, antes de la existencia de materiales elásticos.

<sup>2</sup> El estilo en las artes técnicas y tectónicas”, edición en español. Introducción de Harry Francis Mallgrave. Textos complementarios de K. O. Müller, Karl Bötticher y Gottfried Semper. Traducciones, prefacio, notas y apéndice de ilustraciones por Juan Ignacio Azpiazu, Azpiazu Ediciones, 2013



# DISEÑO DE UN ESPACIO CON EFICACIA FUNCIONAL DENTRO DEL PATIO CENTRAL DE LA ESCUELA DE DISEÑO E INGENIERÍA DE BARCELONA

Un proceso de análisis ambiental y modelado algorítmico

Según las concepciones de la arquitectura en términos de desempeño, un proyecto de diseño exitoso es aquel capaz de responder correctamente tanto a las condiciones específicas del contexto como a los requisitos del proyecto. Esta fue la premisa para el desarrollo de un ejercicio de diseño, en el patio central de la Escuela de Diseño e Ingeniería de Barcelona, cuyo objetivo era cubrir parcialmente un espacio que durante el verano recibe mucha radiación solar directa y durante el invierno muy poca.

Con este objetivo el ejercicio presentado se desarrolló a partir del análisis de dos factores ambientales: el asoleamiento global del espacio a intervenir, así como el comportamiento de los usuarios. Para realizar lo anterior se empleó una metodología diagramática de diseño (inspirada en la visión cibernética de la arquitectura de Christopher Alexander), elaborada como un medio para instrumentalizar los procesos de análisis ambiental en el ejercicio del diseño.

El método en cuestión plantea una práctica del proyecto basada en el uso del diagrama como instrumento para hacer operativo el análisis atmosférico del espacio en la producción de la forma arquitectónica. Según Alexander (1973), un diagrama es “*toda pauta que, al*

*ser abstraída de una situación real, comunica la influencia física de determinadas exigencias o fuerzas.*” De esta manera el diagrama no sólo aparece como una herramienta ideal para diseñar una arquitectura capaz de adecuarse de manera correcta a un contexto específico, sino además como un instrumento que permite aclarar cuál es el contexto en el que se implanta el edificio.

De este modo, el método permite una práctica del proyecto a partir de la retroalimentación entre las fases de análisis y las fases de realización del proceso de diseño (Figuras 1 y 2).

Lo anterior se lleva a cabo mediante el empleo de una herramienta de modelado paramétrico que hace posible emplear los resultados del análisis de un fenómeno de ambiente para el desarrollo de diagramas analíticos y formales. El método comprende cinco puntos: 1) Análisis de los fenómenos ambientales considerados relevantes para el problema de diseño. 2) Elaboración de diagramas analíticos que representan las propiedades de los fenómenos estudiados. 3) Producción de diagramas formales que definen la pauta general de la forma arquitectónica en función de los resultados del análisis. 4) Observación de la adecuación

**Camilo Andrés Cifuentes Quin**  
 Profesor de la Facultad de Ciencias del Hábitat, Universidad de la Salle  
 cacifuentes@unisalle.edu.co

entre las condiciones analizadas, los requisitos del proyecto y las hipótesis de diseño elaboradas. 5) Diseño definitivo.

Las figuras 3, 4 y 5 muestran el desarrollo del proceso de diseño de una cubierta/terraza que, en función de los cinco pasos del método descrito arriba, utiliza una técnica de diseño generativo para la creación de diagramas analíticos y diagramas formales como estrategia de producción de la forma arquitectónica.

## Referencias

» Alexander, C. (1973). *Notes on the Synthesis of the Form*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

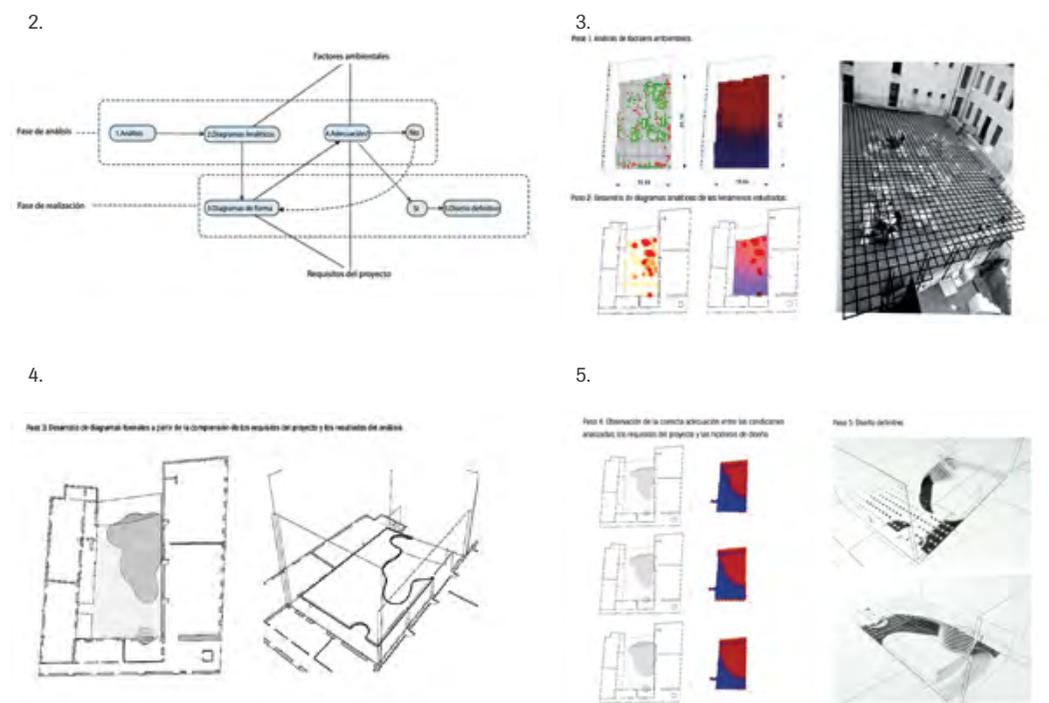
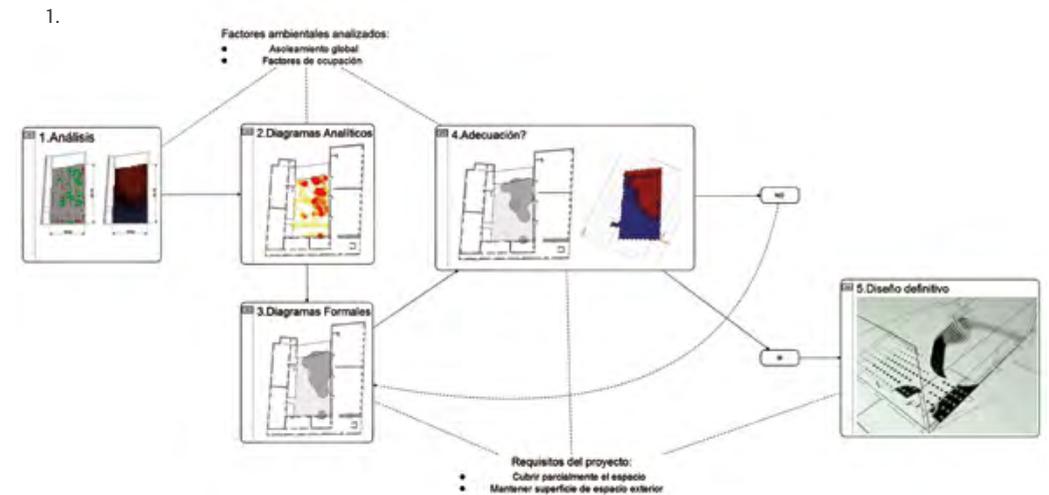
Figura 1. Esquema de lógica del proceso. / Fuente Cifuentes, C. (2016).

Figura 2. Esquema de la relación entre los cinco puntos del método propuesto. / Fuente Cifuentes, C. (2016).

Figura 3. Pasos 1 y 2 del proceso. / Fuente Cifuentes, C. (2016).

Figura 4. Paso 3 del proceso. / Fuente Cifuentes, C. (2016).

Figura 5. Pasos 4 y 5 del proceso. / Fuente Cifuentes, C. (2016).



# SISTEMA DE CORTASOLES RESPONSIVOS

Soportados en el uso de herramientas digitales

Los dos principales problemas al hablar de protección lumínica son la distribución de la luz y su intensidad. El primero implica buscar la mayor homogeneidad posible para evitar el efecto de deslumbramiento; el segundo procurar los niveles adecuados para una función y un usuario particular. Este proyecto propone un sistema de cortasoles dinámicos que procura niveles de iluminación altamente homogéneos, respondiendo en términos de intensidad a condiciones externas cambiantes y requerimientos de usuarios. Al mismo tiempo, el proyecto propone la utilización de la luz bloqueada para ser convertida en energía, cuando sea el caso.

El concepto implica la utilización de paneles con dos caras, una reflectora y otra protectora-accumuladora, que mediante un mecanismo de dos ejes de libertad con movimiento de 180 grados de rotación, logra adaptarse en tipo de superficie expuesta y posición exacta, para reflejar o absorber la radiación solar recibida de la mejor manera. El sistema responde a datos lumínicos proporcionados mediante simulaciones y preferencias de usuario involucradas como *input* mediante una respuesta de posicionamiento en cuatro estados: *reflector* (llevando luz al interior del espacio), *acumulador* (posicionándose directamente contra el vector solar para recibir radiación directa), *abierto* (permitiendo la mayor permeabilidad visual) y *cerrado* (evitando la entrada de rayos solares y obstruyendo visibilidad).

La lógica utilizada originalmente se basa en una operación

booleana básica para obtener los cuatro estados, así: Dados los siguientes valores externos: 0=no hay luz directa, 1=hay luz directa, e internos: X=nivel de iluminación requerido por el usuario; *If X>Y then 0=cerrado, 1=acumulador; else 0=abierto, 1=reflector*.

En otras palabras, si el nivel de iluminación interno es mayor al requerido por el usuario, los paneles se cerrarán si no existe radiación directa, y si existe, se posicionarán contra el vector solar para absorber energía. En caso contrario (mayores requerimientos de iluminación por parte del usuario comparado con iluminación existente al interior), los paneles se abrirán si no hay radiación directa, o reflejarán la radiación al interior cuando hay radiación (figura 2).

Un prototipo 1:1 fue desarrollado, demostrando la viabilidad funcional para la implementación lógica y mecánica del sistema (figura 3). En esta primera fase, la implementación de la lógica utilizó una programación gráfica en Grasshopper, apoyada en datos y simulaciones proporcionados por los plug-ins Ladybug y Honeybee, y transmitiendo datos al sistema físico mediante el plug-in Firefly. La implementación mecánica utilizó microprocesadores Arduino para controlar los servomotores de acuerdo con la información recibida. El control general del sistema (datos de usuario y tiempo) se realizó externamente desde un dispositivo móvil vía Bluetooth. El sistema fue propuesto para un espacio neutro en la ciudad de Girardot, CO, (figuras 4 y 5), el cual fue probado mediante

**Rodrigo Velasco**  
 Docente investigador en la Universidad Piloto de Colombia y director en Frontis 3D  
 rodrigo-velasco@unipiloto.edu.co  
 www.frontis3d.co

simulaciones lumínicas obteniendo altos niveles de desempeño en cuanto a cantidad y calidad (distribución) lumínica, comparado con sistemas tradicionales.

Este proyecto se desarrolló originalmente durante el año 2013 dentro del programa Master of Engineering on Computational Design and Construction de la Hochschule Ostwestfalen-Lippe, en Alemania bajo supervisión de Ulrich Knaack, y fue posteriormente perfeccionado utilizando componentes de lógica difusa gracias a la colaboración entre los programas de Arquitectura e Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia, con soporte de Frontis3d. Para mayor información sobre el proyecto, ir a <http://journals.cambridge.org/> buscando "responsive sun-shading system".

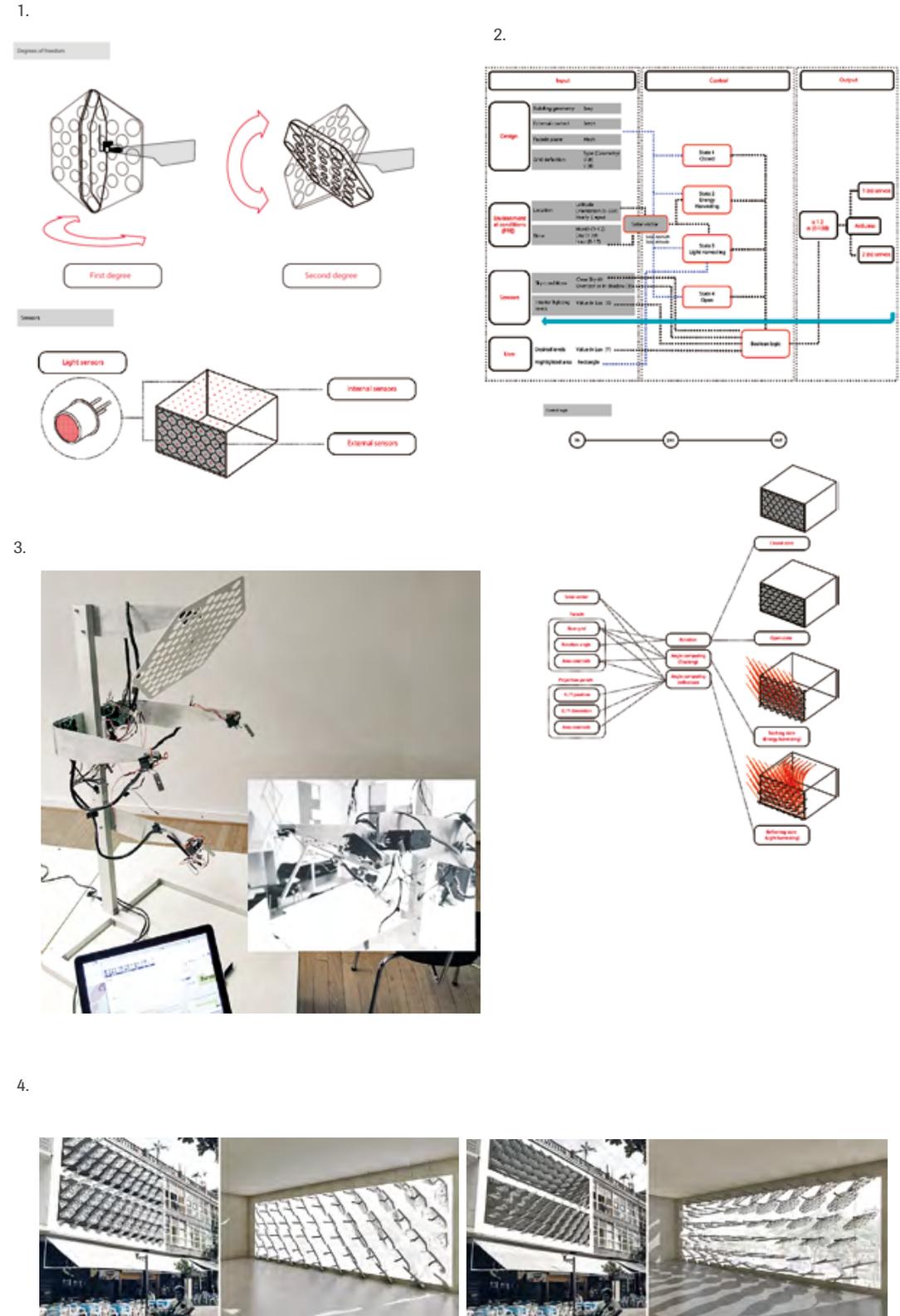
Figura 1. Configuración dinámica y sensorica del sistema. / Fuente: Frontis3d. (2015).

Figura 2. Lógica del sistema y estados de configuración posibles. / Fuente: Frontis3d. (2015).

Figura 3. Prototipo funcional con cuatro paneles. / Fuente: Velasco, R. (2013).

Figura 4. Exterior e interior de sistema en estado de absorción energética, propuesta para edificio en Girardot, Colombia. / Fuente: Frontis3d. (2013).

Figura 5. Exterior e interior de sistema en estado de reflexión lumínica, propuesta para edificio en Girardot, Colombia. / Fuente: Frontis3d. (2013).



## RESPONSIVE SKINS

Exploraciones de diseño por estudiantes de la Universidad Iberoamericana (UIA), Ciudad de México, Departamento de Arquitectura

En la práctica arquitectónica, las herramientas digitales se han utilizado tradicionalmente para la presentación y documentación de proyectos, pero los nuevos métodos de diseño paramétrico permiten al arquitecto integrar el medio digital en el proceso de diseño para establecer conexiones y dependencias entre los elementos.

Este proyecto consistió en el desarrollo de una 'piel' sensible al asoleamiento, usando datos de análisis ambientales. El proceso de diseño se dividió en dos fases: la primera centrada en el desarrollo de los principios y técnicas algorítmicas para la generación de diferentes iteraciones de componentes (figura 4), y la segunda enfocada en la aplicación de los componentes a la envolvente (figuras 1 y 2), respondiendo de manera maleable y con fundamentos paramétricos, incorporando datos obtenidos de análisis ambientales. Este proceso fue posible gracias al uso de herramientas para el diseño paramétrico, y otras que permiten la realización de simulaciones medio-ambientales para alimentar el modelo. En este caso, se utilizó Grasshopper de McNeel como plataforma de diseño y su

plug-in Ladybug, que integra convenientemente el uso motores de Radiance y EnergyPlus utilizando datos geométricos del modelo paramétrico.

Diferentes iteraciones fueron exploradas para generar instancias de forma y piel responsiva, considerando y reflejando análisis ambientales, como la exposición al sol y la sombra, el viento, vistas, comportamiento estructural, comportamiento del material del sistema y el consumo de energía, entre otros. Este proceso cíclico de retroalimentación permitió a los estudiantes gestionar altos niveles de complejidad en la relación entre la geometría y el rendimiento deseado.

**Fabiano Continanza**  
**Jimena Araiza**  
Docentes Universidad Iberoamericana (UIA), y fundadores de iA-Lab1  
[www.ia-lab.xyz](http://www.ia-lab.xyz)  
[info@ia-lab.xyz](mailto:info@ia-lab.xyz)

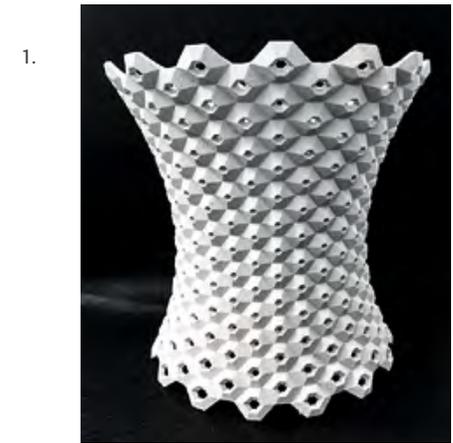
Figura 1. Fachada con HexaPanel.  
/ Fuente: Ochoa Comparán, R. iA-Lab. (2015).

Figura 2. Fachada QuadPanel./  
Fuente: Jacobo Ivan Favela, J. I iA-Lab. (2015).

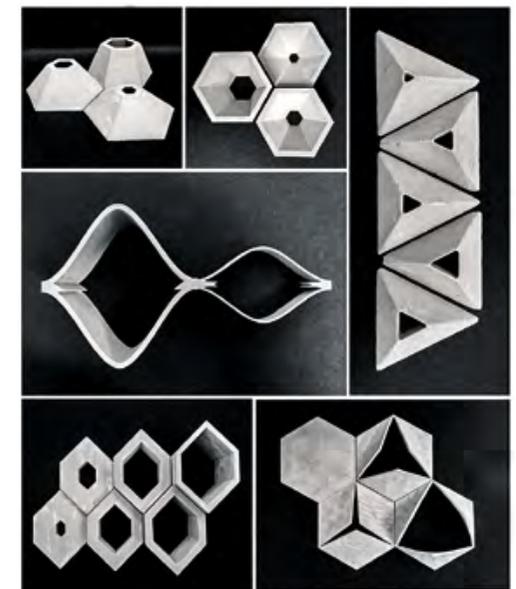
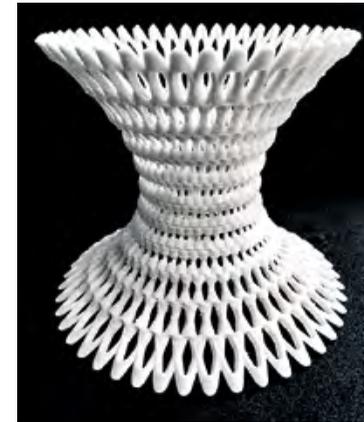
Figura 3. Variedad de configuraciones realizadas en el taller. / Fuente: iA-Lab. (2015).

Figura 4. Componente HexaPanel.  
/ Fuente: Givaudán, S iA-Lab. (2015).

<sup>1</sup> Para la realización de este proyecto se contó con la participación de los siguientes estudiantes: Jorge Daniel Aguilar Hernández, Esteban Argote Garza, José Antonio Bodegas Herrera, Karen Cuadra Espíndola, Iván Jacobo Favela Lara, Santiago Givaudan Díaz, Claudia Guzmán Terrazas, Fernando Mijares Gurza, Alberto Ochoa Comparan, René Ochoa Comparan, Moisés Pérez Grimaldo, Erika Valeria Rodríguez Rodríguez, Aroldo Roberto Ruiz de Chávez Aguilar y Adolfo Vázquez Campos.



2.



3.



4.

# INNOVACIÓN EN ENVOLVENTES CERÁMICAS

Prototipado análogo vs. prototipado digital.

Los procesos de innovación en productos cerámicos, representan un tema de importancia en el proyecto arquitectónico contemporáneo. Numerosos cambios se presentan en el valor dado al material. Pasó de ser un material relegado a un uso higienista y decorativo y ha evolucionado hasta convertirse en un material muy valorado. Grandes arquitectos contemporáneos eligen la cerámica para sus proyectos más relevantes: Kengo Kuma, Alejandro Zaera Polo, Carlos Ferrater, Francisco Mangado, entre otros. Pero también profesionales relevantes están utilizando la cerámica de catálogo e industrializada con gran elegancia, armonía y creatividad. Esta evolución es producto de la conjunción de diversos factores, entre ellos el gran esfuerzo en I+D+i que la industria ha realizado para desarrollar productos más acordes y específicos para el mundo de los arquitectos quienes han conseguido incorporar mayor conocimiento o redescubrir las bondades del material.

Esta investigación expone los resultados de configuraciones formales análogas y digitales de envolventes cerámicas sustentadas en leyes y lógicas de organización de módulos simples interconectados. El proceso análogo ha tenido como premisa la búsqueda

de formas inéditas a partir de las múltiples posibilidades de configuración de armado con un producto industrializado (el ladrillo) donde la técnica constructiva incide de manera relevante en los procesos de exploración y diseño. Para esto se desarrollaron modelos análogos a escala 1:10 y posteriormente a escala 1:1 por medio del sistema de apilamiento, logrando de esta manera generar una eficiencia estructural.

Las técnicas de producción digital han puesto de nuevo al arquitecto en el centro del proceso constructivo, debido a que la información generada en el proceso de diseño se utiliza literalmente para la fabricación de las diversas partes que componen el proyecto arquitectónico. El proceso digital capturó y codificó las intenciones del diseño permitiendo controlar y manipular fácilmente la geometría de los módulos y de este modo desarrollar nuevas y complejas configuraciones geométricas antes posibles de imaginar pero imposibles de concretar sin la ayuda de herramientas de diseño y fabricación digital.

La tesis proyectual digital de la investigación consiste en la exploración y desarrollo de nuevas envolventes arquitectónicas conformadas por módulos de cerámica diferenciados, que

**Ramón Galvis Centurión,**  
**Carmen Xiomara Díaz Fuentes**  
Profesores en el Departamento de  
Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la  
Universidad Francisco de Paula Santander  
rgalvis@gmail.com  
carmenxiomaradf@ufps.edu.co

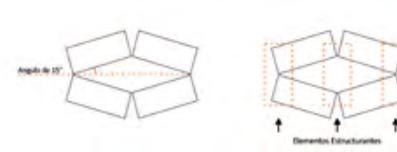
se posicionan en la superficie a través de una grilla tridimensional parametrizada que permite el apilamiento de las piezas, variando sus dimensiones para adaptarse al número de particiones de la grilla; con este proceso se logran múltiples configuraciones de envolventes cerámicas. Los primeros resultados de este proyecto, han permitido consolidar el aula de diseño cerámico de la Universidad Francisco de Paula Santander, como espacio para la generación de ideas para el clúster de la cerámica en la región.

Figura 1. Modulacón de una envolvente de doble piel con cámara de aire. / Fuente: Galvis, R y Díaz, X. (2015).

Figura 2. Exploración digital de configuraciones usando herramientas paramétricas. / Fuente: Galvis, R y Díaz, X. (2015).

Figura 3. Prototipo Esc 1:10 y 1:1. / Fuente: Galvis, R. y Díaz, X. (2015).

1.



2.



3.



# ESPACIOS INTERACTIVOS

**Diego Chavarro Ayala**  
Editor

La idea de proporcionar propiedades de adaptabilidad e interacción a los objetos ha revolucionado todas las industrias y el adjetivo de “inteligente” ha emergido como la mejor manera de describir los objetos con estas propiedades (teléfono, automóviles, entre otros.). La industria de la construcción no ha sido ajena a este interés y es común escuchar en el mercado inmobiliario el término de “casas inteligentes” o “edificios inteligentes”. Si bien el término ha sido apropiado en el mercado inmobiliario, la reflexión académica es la encargada de teorizar sobre cómo dar “inteligencia” a los espacios. “Espacios interactivos” es el nombre que le asignamos a esta sección en donde agrupamos proyectos académicos que reflexionan y teorizan sobre la interacción y la adaptabilidad en la arquitectura y la ciudad. Temas como la extracción y manejo de datos, control en la interacción y adaptabilidad de los espacios son recurrentes en el desarrollo de estos proyectos.

Dentro de la Universidad Piloto de Colombia, el problema de “Espacios interactivos” no ha sido específico de un tema de investigación, sino que se han desarrollado proyectos que reflexionan sobre la interactividad, como por ejemplo los

prototipos de los estudiantes del semillero “Tecnología expresiva” presentados en el *Salone Satellite* dentro del Salone Mobile de Milán celebrado en el 2012, donde se presentaron tres instalaciones urbanas para la ciudad de Bogotá que interactuaban con los ciudadanos por medio de luz, sonido y movimiento respectivamente o la investigación desarrollada por el arquitecto Aaron Brakke “Realidad Aumentada” donde se exploraron técnicas interactivas de concepción y representación arquitectónicas o el artículo *Dynamic Facades and Computation: Towards an Inclusive Categorization of High Performance Kinetic Façade Systems*, donde se propuso una clasificación de fachadas dinámicas que enfatiza la importancia del control en la adaptabilidad de las fachadas dinámicas, presentado por los profesores, investigadores Rodrigo Velasco, Aaron Brakke y Diego Chavarro en la conferencia CAAD Futures 2015 en Sao Pablo. Brasil.

En “Espacios interactivos” dividimos los trabajos en dos secciones. La primera esta compuesta por proyectos que desarrollan una reflexión sobre cómo pueden ser creados nuevos espacios a partir de la interpretación de datos, de plataformas virtuales de Blog

y microblogging en el caso del arquitecto Andrés Barrios con el proyecto *Contenido digital y Redes en línea: nuevos lugares en las ciudades*, o en la obra literaria de Calvino en el proyecto *Ciudades Invisibles: esculpiendo poesía en la forma urbana* de los arquitectos Alejandro Puentes Amézquita y Yiyang Liang. La segunda sección está compuesta por proyectos que reflexionan sobre la interacción del espacio con su contexto. En esta sección se incluyen el cortometraje *Nuturing Emergent Syntetic Life (NESL)* diseñado por Design Futures Lab, dirigido por Nicole Koltick con la colaboración de Jay Hardman, Elena Sabinson y el ingeniero Mike Hogan; el proyecto *Hypercell* diseñado por los estudiantes Pavlina Vardoulaki, Ahmed Shokir, Cosku Çinkiliç y Houzhe Xu, de la Architecture Association del programa Design Research Laboratory (AADRL), en el taller dirigido por Theodore Spyropoulos, el proyecto realizado por el arquitecto David Dória, *Interactive Pavilion-Design as a Study Tool for Interactive Architecture*, y por último los tres prototipos presentados en Salone Mobile de Milán (2012) desarrollado por los estudiantes del semillero de investigación “Tecnología expresiva” dirigido por Rodrigo Velasco.

| Espacios Interactivos   |    |      |
|---|----|------|
| Revista Alarife: Construcciones digitales   | PB | 2007 |
| Semillero Tecnología Expresiva (Hasta la fecha)   | SI | 2008 |
| Herramientas digitales en la formación académica, dentro del programa de Arquitectura de la UPC (Finaliza 2010)   | IN | 2009 |
| Eco - envoltentes (Finaliza 2012)   | IN | 2010 |
| CSA 2011 MONTREAL, CA (Association of Collegiate School of Architecture): <i>Aumented reality, in architecture where do we stand?</i>   | PB | 2011 |
| Salone Satellite, Milano, IT  | EX | 2012 |
| Realidad aumentada: <i>Towards a Generative and Augmented View of Arch. Representation</i> (Finaliza 2013)  | IN |      |
| Fortalecimiento Académico-Investigativo de la Línea Institucional “Innovación y Tecnología” en el Programa de Arquitectura (Finaliza 2016)  | IN | 2013 |
| Computer-Aided Architectural Design Futures. The Next City - New Technologies and the Future of the Built Environment: <i>Dynamic Façades and Computation: Towards an Inclusive Categorization of High Performance Kinetic Façade Systems</i> | PB | 2014 |
| Seminario Internacional de Arquitectura: <i>The Digital Reveal: Arquitectura en la era Post-Digital</i>   | PB | 2016 |

PB: Publicaciones  
SI: Semillero de investigación  
IN: Investigación  
EX: Exposición

# CONTENIDO DIGITAL Y REDES EN LÍNEA

Nuevos lugares en las ciudades

Este proyecto tiene por objeto entender en qué medida los contenidos distribuidos en línea por los individuos en servicios de blogs y microblogging conduce a la generación de nuevos valores específicos en el espacio. Los mensajes publicados por los individuos a través de redes sociales, además de otras plataformas de contenidos en línea, dan lugar a un modo específico de producción y al consumo espacial.

El enfoque epistemológico que precede la ejecución de este proyecto se deriva de nuestra relación con entidades como medio ambiente y sociedad, a partir de la premisa constante del avance tecnológico. Para estose genera una dinámica de continua redefinición de lo que puede denominarse “herramientas relacionales”. Una vez se considera la variable del entorno en línea como parte de las herramientas mencionadas anteriormente, se estima que existen calidades de la vida social que antes pertenecían exclusivamente a la esfera de las relaciones analógicas y que son comunicadas con precisión en entornos digitales.

En la medida en que este evento introduce un cambio dramático en la forma en que las relaciones sociales y naturales son modeladas por parte de individuos y comunidades, pareciera que la linealidad narrativa  $\frac{3}{4}$  tradicionalmente asociada

a las técnicas de planificación urbana  $\frac{3}{4}$  es desafiada y, hasta cierto punto, destinada a la obsolescencia. Esta propuesta metodológica de investigación se apalanca intensivamente de series de conjuntos de datos recuperados de las plataformas digitales mencionadas anteriormente, informando así las series de análisis que son llevados a cabo a través de este proyecto. En lo que se refiere al aporte académico de esta investigación, esta se sitúa en la intersección de disciplinas socioespaciales, como Urbanismo, Geografía, Estudios de Medios de Comunicación y Estudios Sociales.

Desde esta posición, el presente proyecto investiga si los medios digitales juegan un papel en los procesos contemporáneos de producción espacial, una vez se asume que las calidades que hacen parte de un espacio socialmente producido se verán reflejadas en estos medios. Uno de los estudios de caso para la estructuración de este proyecto es la locación conocida como Boxpark Shoreditch en Londres, cuyas calidades espaciales han sido recuperadas de los servicios sociales Twitter y Facebook, entre otras fuentes. Aquí, una serie de puntajes referidos al tono del contenido, su frecuencia y a la calidad de los contenidos relacionados con la calidad espacial de este sitio son obtenidos a partir de la cuantificación y la clasificación

**Andrés Barrios**  
Bauhaus-Universität Weimar, Alemania.  
Investigación de Doctorado en la Facultad de Arquitectura, Departamento de Sociología Espacial (En curso)  
andbarrios@gmail.com

de estos mismos. Una vez estos son combinados proporcionan una visión de las calidades performativas del espacio que, a su vez, podrían alterar su proceso de formación de valor y, por último, su comparabilidad y capacidad de conformación de redes en un sistema complejo de calidades espaciales.

1. ▶ Fluctuations overtime grouped activities  
Data collection period: October 2012  
n=1082

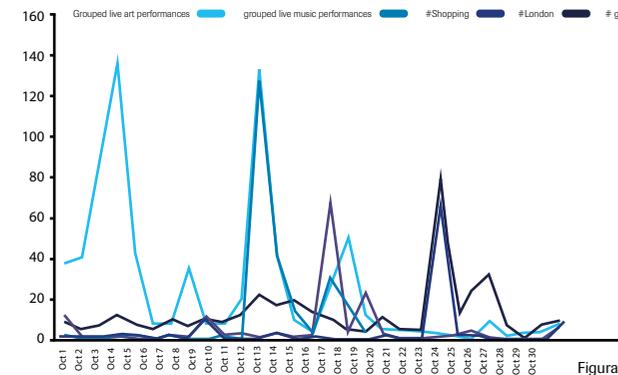


Figura 1

2.

▶ Main Spatially related observations

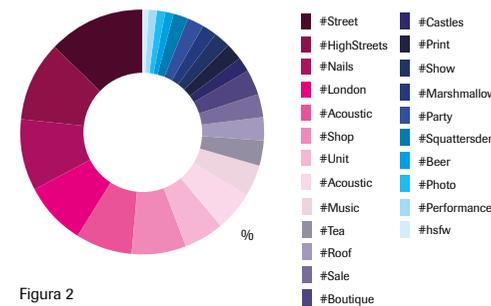


Figura 2

3.

▶ Main spatial observations found

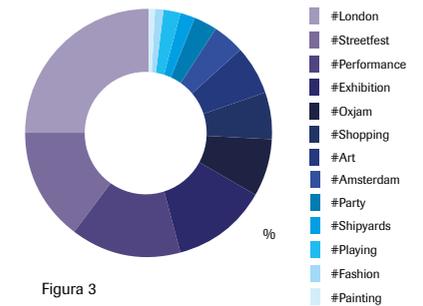


Figura 3

4.

▶ Activities grouped

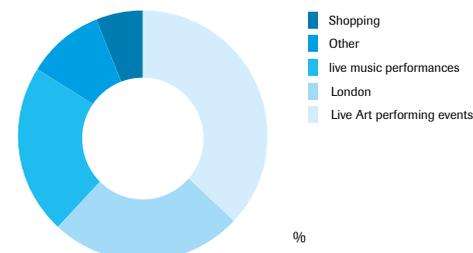


Figura 4

5.

▶ Observations grouped per activity

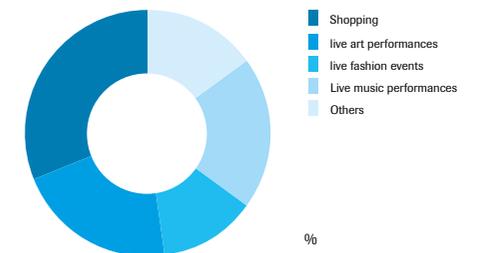


Figura 5

Figura 1. Fluctuación en el tiempo. Octubre 2012. / Fuente: Barrios, A. (2016).

Figura 2. Principales relaciones espaciales observadas. / Fuente: Barrios, A. (2016).

Figura 3. Principales relaciones espaciales encontradas. / Fuente: Barrios, A. (2016).

Figura 4. Agrupación de actividades. / Fuente: Barrios, A. (2016).

Figura 5. Observaciones agrupadas por actividad. / Fuente: Barrios, A. (2016).

## CIUDADES INVISIBLES

Esculpiendo poesía  
en la forma urbana

En *Las ciudades invisibles*, Ítalo Calvino construye ciudades inventadas a través de las descripciones que Marco Polo hace de ellas a Kublai Khan. Ciudades imaginarias que emergen de su poesía, planteando puntos de partida para reflexionar sobre la ciudad y su estructura poética. Este proyecto busca celebrar la obra de Calvino a través de una escultura que materializa sus palabras en un fragmento imaginario de Nueva York, su ciudad amada.

Fue visitando la colección permanente del *Dia Beacon* en donde aprendimos sobre la obra de Sol LeWitt y su idea de diseñar procesos de composición, no obras de arte. Inspirados por esta idea decidimos diseñar un método para esculpir 69 bloques de Manhattan utilizando los cinco textos de *Las Ciudades y el Cielo* como materia prima para generar las edificaciones; la grilla de Nueva York como lienzo base de la composición. El resultado de este proceso es una escultura de manufactura aditiva en la que las palabras de Calvino se materializan en un nuevo tejido urbano para un sector de la gran manzana.

Los textos de la serie *Las Ciudades y el Cielo* nos sirvieron como *raw data* para determinar los parámetros del modelo. Para esto, seccionamos el texto en seis clases de palabras (verbos, sustantivos, pronombres, adjetivos, adverbios y otras palabras) y a cada clase le asignamos una tipología edilicia única.

Así, por ejemplo, cada vez que aparece un verbo en el texto, debe aparecer un rascacielos en la escultura. Para procesar el texto utilizamos *Python 2.7* y algunas librerías del *NLTK*, que nos permitieron generar los archivos *.CSV* que contienen las coordenadas geográficas de cada edificación dentro de la escultura.

Para dar materialidad arquitectónica a la información contenida en los archivos *.CSV* y generar una forma urbana, escribimos *scripts* en *Rhino-Python* para traducir las coordenadas de cada grupo de edificaciones a un modelo 3D de *Rhinoceros*. El archivo *.OBJ* resultante lo editamos en *Meshlab* y *Netfabb* para reparar las mallas del modelo y dejarlo listo para impresión. Las impresiones de prueba se realizaron en un *MakerBot II* y la impresión final en una impresora *Z Corporation Z Printer 650*.

Este proyecto es un ejercicio que busca aumentar nuestra memoria de la ciudad, desarrollando una metodología para esculpir un texto sobre una preexistencia urbana, en este caso, la grilla de Nueva York. El método que diseñamos podría ser utilizado nuevamente para esculpir otros textos, de otros autores, y cada vez generaría un tejido urbano nuevo y único, algo así como una huella urbana única para cada texto. Es un método de diseño generativo que nos permite reflexionar desde una dimensión poética sobre la forma urbana.

**Alejandro Puentes Amézquita**  
Arquitecto  
**Yiyang Liang**  
Economista política  
www.aledro.co, alejandro@grbto.co

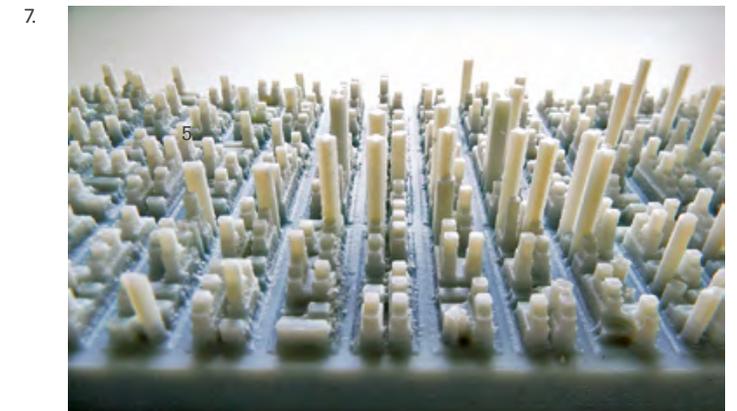
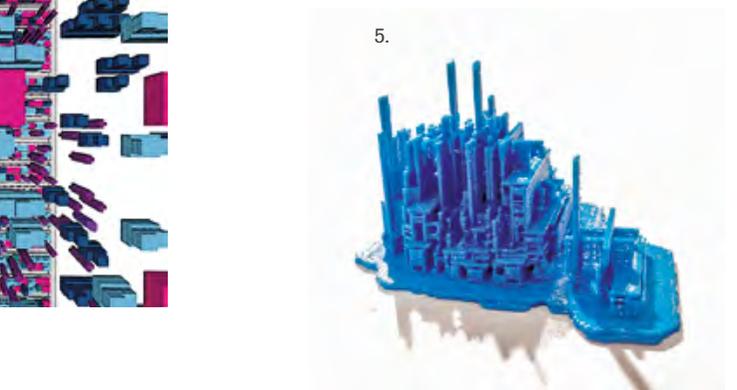
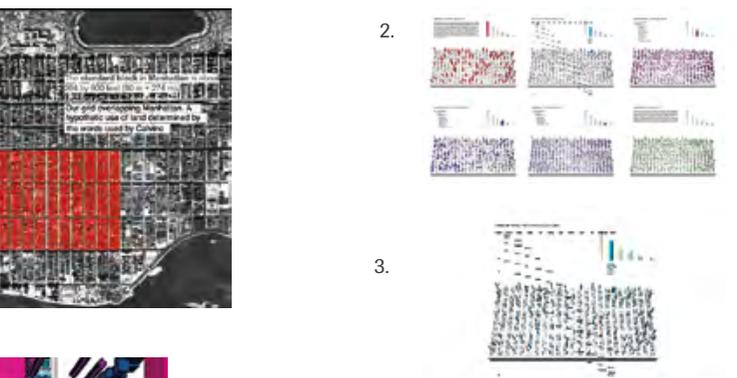
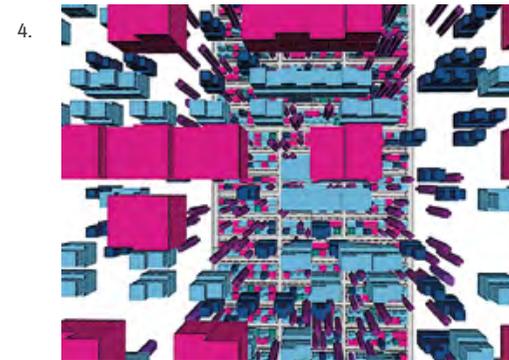


Figura 1. Sobreposición en malla urbana de Manhattan. / Fuente: Puentes, A., Liang, Y. (2016).

Figura 2. Tipologías de edificios según texto de Calvino. / Fuente: Puentes, A., Liang, Y. (2016).

Figura 3. Las ciudades de Ítalo Calvino. Persepectiva. / Fuente: Puentes, A., Liang, Y. (2016).

Figura 4. Las ciudades de Ítalo Calvino. Perspectiva. / Fuente: Puentes, A., Liang, Y. (2016).

Figura 5. Impresión en 3D de cuadra típica, en la ciudad de Ítalo Calvino. / Fuente: Puentes, A., Liang, Y. (2016).

Figura 6. Las ciudades de Ítalo Calvino, impresión 3D. / Fuente: Puentes, A., Liang, Y. (2016).

Figura 7. Las ciudades de Ítalo Calvino, impresión 3D. / Fuente: Puentes, A., Liang, Y. (2016).

Figura 8. Las ciudades de Ítalo Calvino, impresión 3D. / Fuente: Puentes, A., Liang, Y. (2016).

Figura 9. Las ciudades de Ítalo Calvino, impresión 3D. / Fuente: Puentes, A., Liang, Y. (2016).

Figura 10. Las ciudades de Ítalo Calvino, impresión 3D. / Fuente: Puentes, A., Liang, Y. (2016).

Figura 11. Las ciudades de Ítalo Calvino, impresión 3D. / Fuente: Puentes, A., Liang, Y. (2016).

# NESL

(Nurturing Emergent Synthetic Life)

NESL (Nurturing Emergent Synthetic Life) es un cortometraje que explora una nueva especie robótica situada en un paisaje totalmente sintético.

El proyecto cuestiona el desvanecimiento de lo "sintético" y lo "natural" y especula sobre el potencial de lo digital con respecto a la forma, el comportamiento y su propósito. Este cortometraje es una extensión del proyecto de investigación de ecología sintética con la especie de robot NESL y su medio ambiente, siendo ésta la última faceta de exploración, y el hábitat del robot, el componente más importante del proyecto. Esencialmente es una realización física de datos encontrados en red, un paisaje que permite una serie de interacciones que evocan un sistema vivo a través de un significado artificial.

Esto captura la narrativa del medio ambiente mientras se desenvuelve durante varios días, utilizando imágenes en movimiento, intervalos y superposiciones digitales para transmitir múltiples puntos de referencia con este hábitat dinámico. La ecología dinámica representada en el cortometraje fue diseñada y fabricada digitalmente explorando un amplio rango de técnicas e investigaciones para el rendimiento del material, las interacciones de escenarios y robótica a pequeña

escala. Esta pieza comprende múltiples capas de elementos y explora técnicas digitales al servicio del diseño especulativo de una narrativa. Una amplia investigación del material está comprendida en varias etapas de la pieza, incluyendo el terreno interactivo hecho en silicona el cual usa un sistema de bolsa de aire y un mecanismo interno de agua y la piel flexible del robot desarrollada en impresión 3D puesta a punto de los cristales a base de minerales. Esta pieza especula acerca de nuevos modelos de interacción de robots con su medio ambiente; su comportamiento contribuye a soluciones todavía no determinadas. Los robots han sido desarrollados con una motivación estética para participar con su medio ambiente, con el desarrollo de cristales alrededor de ellos.

Estas piezas ofrecen múltiples niveles de contenido y una narrativa originada en filosofías poshumanas relacionadas con estéticas no humanas y problemas relacionados con la empatía y ética hacia los robots en el futuro. A medida que avanzaba el proyecto hubo una exploración prolongada de la estética dentro de la pieza y el papel que los robots juegan en la transmisión de comportamientos estéticos dentro de una serie de agentes digitales y materiales. Los robots tienen

**Design Futures Lab**  
Dirigido por Nicole Koltick  
Diseñadores: Jay Hardman,  
Elena Sabinson, Ingeniería: Mike Hogan  
Nrck37@drexel.edu

un sistema de visión básica y la capacidad de explorar y manipular su entorno. A través de la intersección de comportamientos de los robots, el paisaje dinámico y las propiedades químicas de las formaciones de cristales, la ecología comienza a formar resultados emergentes que especulan sobre el potencial de los agentes y la estética de la máquina.

Figura 1. Paisaje tomado de NESL (Nurturing Emergent Synthetic Life). / Fuente: Koltick, N. (2016).

Figura 2. Detalle tomado de NESL (Nurturing Emergent Synthetic Life). / Fuente: Koltick, N. (2016).

Figura 3. Paisaje tomado de NESL (Nurturing Emergent Synthetic Life). / Fuente: Koltick, N. (2016).

Figura 4. Paisaje tomado de NESL (Nurturing Emergent Synthetic Life). / Fuente: Koltick, N. (2016).

Figura 5. Los robots son guiados por el color de los cristales. NESL (Nurturing Emergent Synthetic Life). / Fuente: Koltick, N. (2016).

Figura 6. Planta del paisaje creado por los robots. NESL (Nurturing Emergent Synthetic Life). / Fuente: Koltick, N. (2016).

1.



2.



3.



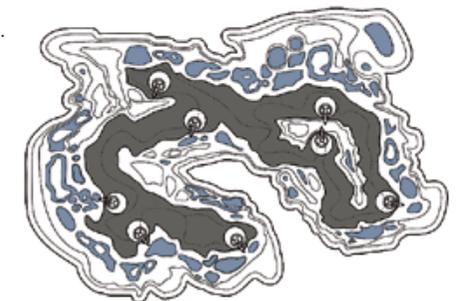
4.



5.



6.



# HYPERCELL

La Arquitectura normalmente se desarrolla como un objeto estático, mientras que el mundo es muy dinámico. Los desarrollos de planeación urbana no se pueden predecir de manera precisa en el presente por el carácter volátil y dinámico de la sociedad. La ciudad del futuro va a poder predecir de manera precisa las transformaciones necesarias para responder de manera interactiva a las necesidades que demanda la ciudad.

Por eso, estamos interesados en desarrollar un sistema que pueda responder a los cambios mediante una conciencia autónoma, de autoensamblaje y de autonomía en su movilidad y reconfiguración. Hypercell es un sistema basado en el tiempo, que está en continua formación y que no tiene una forma final. Un número de células puede asociarse sin una instrucción predefinida para crear estructuras significativas. Las estrategias físicas y computacionales de autoensamblaje fueron desarrolladas para demostrar la habilidad de una célula y de su colectivo. Estas estrategias muestran agregación creada con estrategias orientadas al logro. Mediante la toma de decisiones locales, este sistema puede crear de manera consciente espacios desde los datos globales y locales. Hypercell puede responder a eventos de la ciudad y crear requerimientos de espacio mediante la recolección de datos existentes, como datos predictivos, datos

en tiempo real y los estudios de grupos de investigación, incluidas estadísticas valiosas.

Hypercell es un sistema basado en la toma de decisiones de cada una de las células. Cada célula puede tomar sus propias decisiones y tener decisiones en términos de movilidad, recolección de energía, transformación y construcción.

La célula mide 10 cm por 10 cm y pesa aproximadamente 16 gm sin su mecanismo interno. Una técnica de impresión en 3D fue introducida para fabricar estas células de manera maciza. Cada célula puede desenvolverse en cuatro direcciones diferentes y pueden subir una encima de la otra. Para solucionar la energía de la célula desarrollamos un prototipo que muestra cómo cada una de ellas puede abrirse por sí misma para la recolección de energía. La transformación del prototipo muestra cómo la célula puede escalar encima de las otras para autoensamblarse, dándole la habilidad de envolverse y de manera simultánea reducirse y almacenar energía para volver a su forma inicial.

En la escala colectiva de la operación nuestro sistema muestra organización, autoestructuración y desarrollo de espacios. La estrategia de autoestructuración está basada en procesos de autoevaluación y toma de decisiones en tiempo

**Pavlina Vardoulaki, Ahmed Shokir, Cosku Çinkiliç, Houzhe Xu**  
Design Research Laboratory (AADRL),  
Architecture Association  
[www.hypercell.co.uk](http://www.hypercell.co.uk)

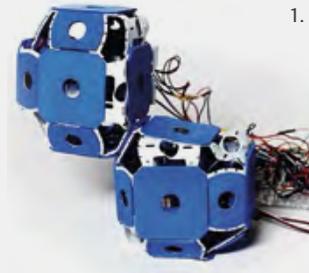


Figura 1. Prototipo célula. / Fuente: Vardoulaki, P., Shokir, A., Çinkiliç, C., Xu H. (2016).

Figura 2. Propiedades de la célula. / Fuente: Vardoulaki, P., Shokir, A., Çinkiliç, C., Xu H. (2016).

Figura 3. Detalle célula, Hypercell. / Fuente: Vardoulaki, P., Shokir, A., Çinkiliç, C., Xu H. (2016).

Figura 4. Descripción del estado de la célula. Hypercell. / Fuente: Vardoulaki, P., Shokir, A., Çinkiliç, C., Xu H. (2016).

Figura 5. Auto ensamblaje. Hypercell. / Fuente: Vardoulaki, P., Shokir, A., Çinkiliç, C., Xu H. (2016).

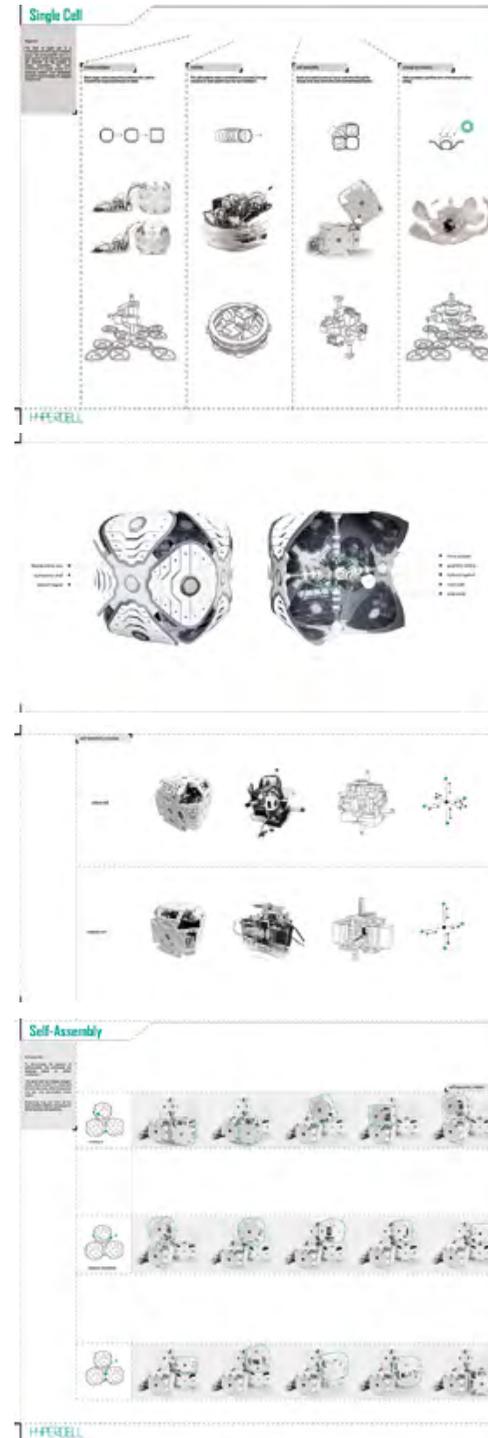
Figura 6. Estrategias de construcción. / Fuente: Vardoulaki, P., Shokir, A., Çinkiliç, C., Xu H. (2016).

Figura 7. Tipología estructurales. / Fuente: Vardoulaki, P., Shokir, A., Çinkiliç, C., Xu H. (2016).

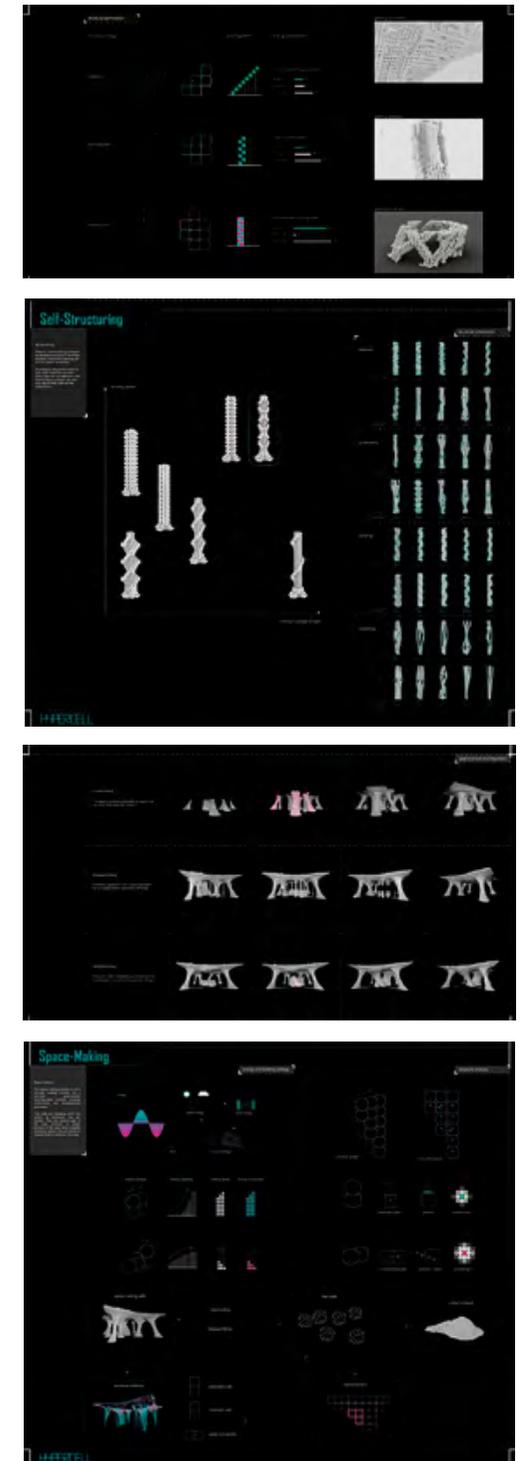
Figura 8. Reconfiguración. / Fuente: Vardoulaki, P., Shokir, A., Çinkiliç, C., Xu H. (2016).

Figura 9. Configuración de espacios. / Fuente: Vardoulaki, P., Shokir, A., Çinkiliç, C., Xu H. (2016).

2. - 5.



6. - 9.



real apuntando a la generación de estructuras estables y proporcionando espacios arquitectónicos a la ciudad.

Una gran población de células está involucrada en este proceso de desarrollo del espacio; cada célula está consiente de las condiciones locales, además de las metas globales que le sean asignadas al sistema y es capaz de tomar decisiones optimizadas que beneficien manteniendo la estabilidad de las estructuras. Manejar un número grande de células para crear espacios implica un análisis estructural en tiempo real.

Si el sistema está en modo de ahorro de energía, los espacios toman más tiempo. El sistema puede remover las células redundantes que pueden migrar a otras partes de la estructura donde más células están siendo necesitadas. Hypercell es una ecología en constante cambio, adaptación y reconfiguración.

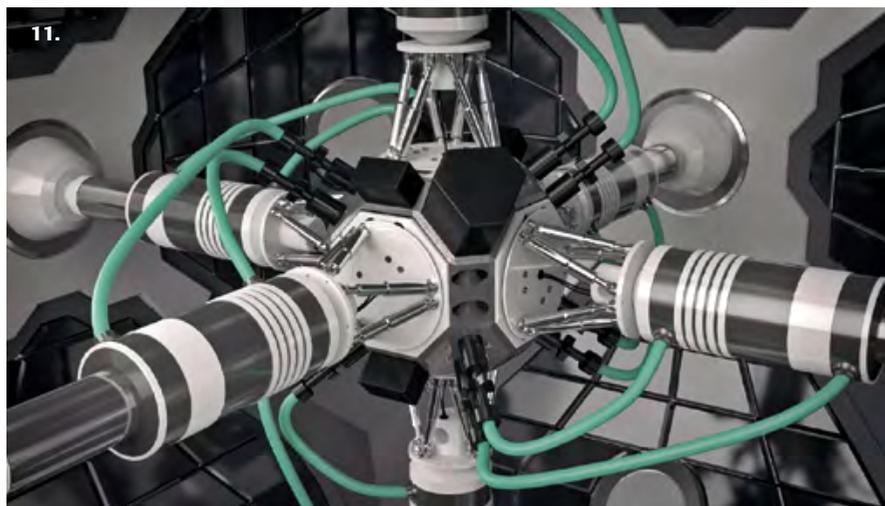
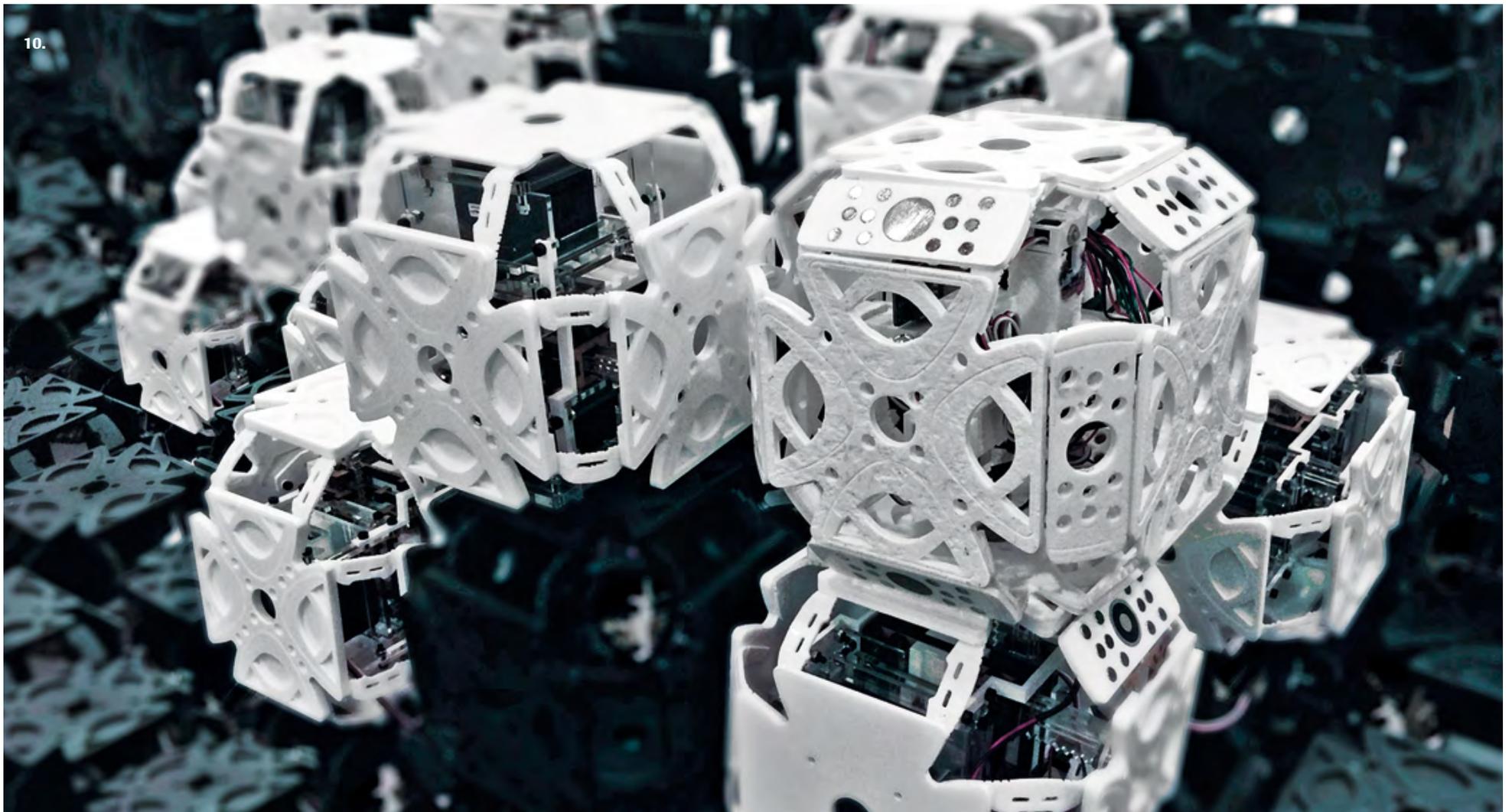


Figura 10. Render de las células. / Fuente: Vardoulaki, P., Shokir, A., Çinkiliç, C., Xu H. (2016).

Figura 11. Estructura interior de las células. / Fuente: Vardoulaki, P., Shokir, A., Çinkiliç, C., Xu H. (2016).

Figura 12. Perspectiva. / Fuente: Vardoulaki, P., Shokir, A., Çinkiliç, C., Xu H. (2016)

## PABELLÓN INTERACTIVO

El diseño como herramienta de estudio para una arquitectura interactiva

La época contemporánea está marcada por los rápidos avances tecnológicos que cada día influyen más y más a la sociedad humana y a la práctica de la arquitectura. Esto modifica los procesos de diseño, los métodos de representación, fabricación, construcción y uso de los edificios. De ahí que abra nuevas tendencias en la arquitectura. Este proyecto abarca el estudio sobre una de estas tendencias: el diseño de espacios interactivos.

Inicialmente desarrollado como un proyecto de grado, bajo la dirección de Theodore Spyropoulos y con la asistencia de Mustafa El Sayed, este trabajo quiere construir un marco teórico acerca de la arquitectura interactiva mediante la revisión de proyectos y literatura que puedan ayudarnos a entender lo que es, su contexto, y cómo se convierte en algo real. En otras palabras, para entender cómo un edificio puede ser parte activa de la relación con sus usuarios y su medioambiente. El trabajo de autores como Kas Oosterhuis y el Hyperbody Group, Henri Achten, Louise Poissant, Lev Manovich y Usman Haque, ayudó a crear un marco teórico. La investigación está enfocada en la incorporación de elementos digitales multidisciplinares y técnicas que permiten que el espacio se comporte de manera interactiva mediante características

materiales e inmateriales. Estas incorporaciones forman un sistema interactivo, un complejo sistema de elementos que actúan de manera complementaria y permiten al edificio cumplir con los requerimientos de una relación interactiva.

Como propósito de este estudio, se ha diseñado un pabellón interactivo sin sitio específico para explorar y demostrar las especificidades y características del proceso de diseño en la arquitectura interactiva. La base para el diseño interior del pabellón fue compuesta por elementos repetitivos que pueden expandirse, retraerse y por ende reducir o incrementar el espacio y su luminosidad. El pabellón resulta de la repetición de una estructura tipo pórtico con una superficie interior deformable hecha de materiales flexibles pegada a pistones, los cuales generan cambios en la espacialidad del pabellón de acuerdo a la presencia o movimientos de usuarios. El edificio fue diseñado usando herramientas y métodos de diseño paramétrico que permitieron proyectar la complejidad del sistema interactivo y hacer posible la simulación y análisis virtual del comportamiento de los espacios en diferentes escenarios.

Este trabajo de diseño e investigación no pretende resumir o definir lo que es la arquitectura interactiva o cómo debe ser

**David Dória**  
Arquitecto y urbanista  
Dave\_rsd@hotmail.com

alcanzada. Incluye parte de la discusión teórica desarrollada globalmente y establece una interpretación de cómo puede ser alcanzada por medio del proceso de diseño. Tampoco responde cada pregunta alrededor de este tema, pero aporta a la discusión dejando tal vez las conclusiones para un futuro cercano.

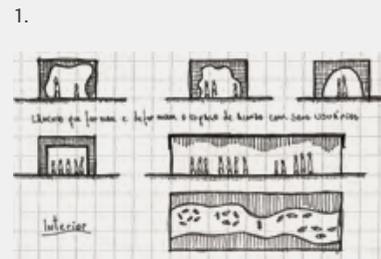


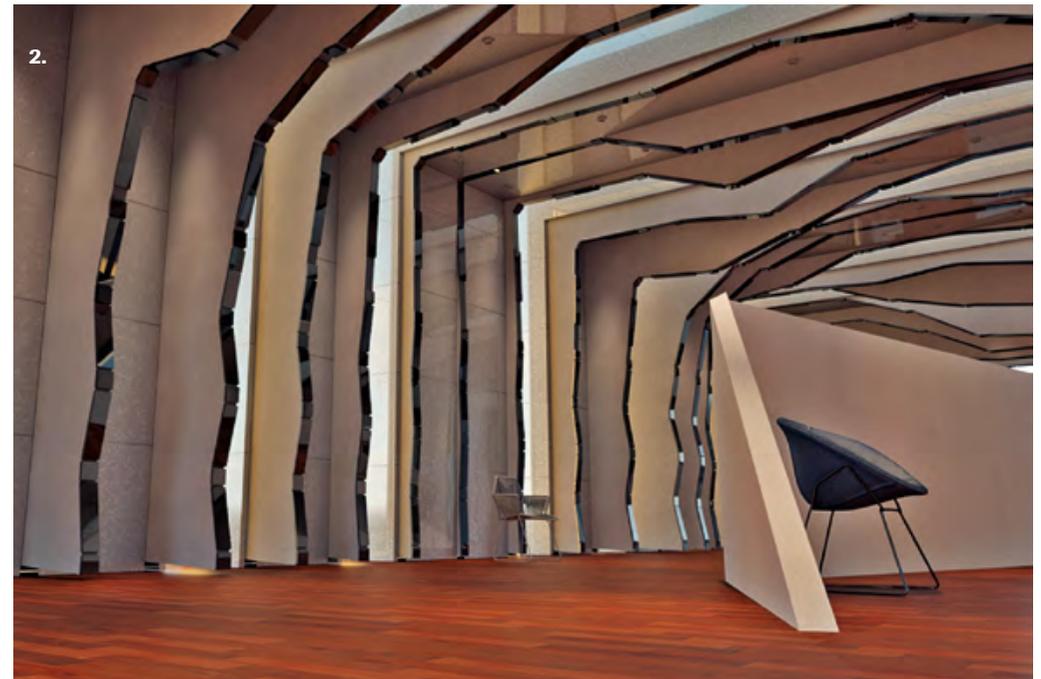
Figura 1. Sketches iniciales. / Fuente: Dória, D. (2016).

Figura 2. Perspectiva interior. / Fuente: Dória, D. (2016).

Figura 3. Perspectiva interior. / Fuente: Dória, D. (2016).

Figura 4. Perspectiva interior. / Fuente: Dória, D. (2016).

Figura 5. Comportamiento del pórtico. / Fuente: Dória, D. (2016).



## MOBILIARIO URBANO INTERACTIVO

Exposición en el Salone Satellite- Salone del Mobile Milan 20121

Para el Salón del Mueble de Milán 2012, la Universidad Piloto participó en el Salón Satellite de Milán, Italia, junto con el semillero de investigación de Tecnología Expresiva de la Facultad de Arquitectura y Artes, con el objetivo de desarrollar tres prototipos interactivos que actuaran en relación con las plazas públicas. La propuesta tuvo tres desarrollos, los cuales, junto a un equipo interdisciplinar, exploraron la aplicabilidad del mobiliario por medio de interacción lumínica, sonora y de movimiento en la búsqueda de brindar espacios públicos a la ciudad que fueran más amables, atractivos y seguros.

La interacción lumínica es un sistema que implica mobiliario multipropósito que interactúa con los usuarios por medio de cambios graduales de luz para generar una sensación de

seguridad en horarios nocturnos en áreas urbanas abiertas. Los elementos móviles se adaptan a diferentes posiciones ergonómicas gracias a un diseño paramétrico materializado mediante una configuración constructiva tipo waffle<sup>2</sup>. El resultado de esta aplicación se materializó en una silla interactiva con sensores multicolores, que a modo de bandas continuas, transmiten experiencias públicas con contenidos culturales importantes. Este prototipo puede ser adaptado para hacer sistemas de mobiliario urbano en lugares con baja circulación peatonal nocturna como la Plaza de Bolívar, el Parque de los Periodistas o la tradicional Avenida Jiménez de Bogotá.

La interacción sonora fue una instalación urbana basada en sonido con un sistema que utiliza construcciones longitudinales continuas en tiras, que definen espacios para interactuar con los peatones en una forma de doble estímulo (como emisor y receptor), almacenada y transmitida como experiencias públicas. La aplicación particular de la instalación se diseñó para la plaza principal de la ciudad de Bogotá.

<sup>2</sup> Tipo de construcción a partir de planos en dos direcciones que se intersectan.

**Ivanna Díaz**  
Semillero Tecnología Expresiva,  
Universidad Piloto de Colombia  
Idiaz56@upc.edu.co

Figura 1. Prototipo instalación de sonido. / Fuente: Díaz, I. (2012).

Figura 2. Render interactividad instalación de sonido. / Fuente: Díaz, I. (2012).

Figura 3. Prototipo instalación de sonido. / Fuente: Díaz, I. (2012).

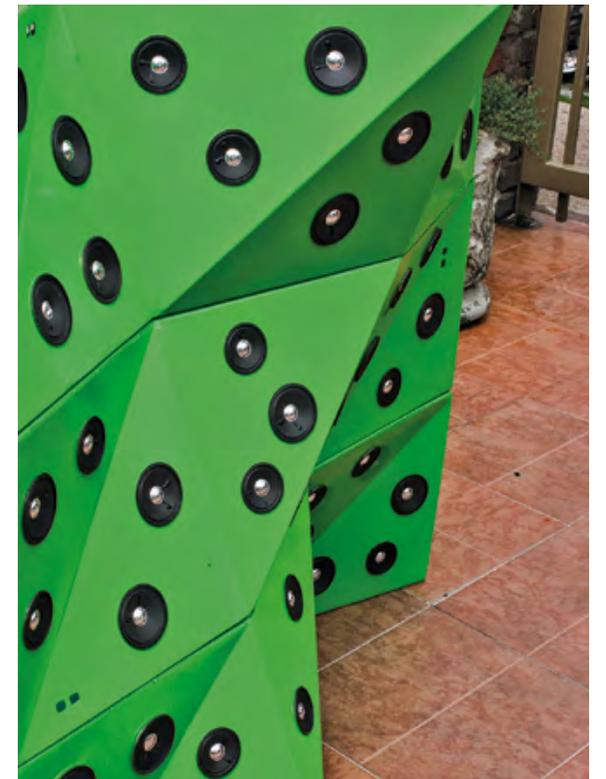
1.



2.



3.



Las tiras continuas definían la permanencia de espacios y la circulación en calidad de receptores para generar una relación directa entre la pieza de arte sonoro y el contexto.

El diseño del prototipo tenía la intención de explorar nuevas relaciones entre el aspecto interactivo de la arquitectura a nivel sensorial. El uso de una superficie de doble curvatura para involucrar al público, se desarrolló en Grasshopper<sup>3</sup>, dando como resultado una cinta de triángulos que refleja los puntos de vista sociológicos y políticos, base de la inspiración para la fusión entre el sonido y el objeto arquitectónico.

Se compone de tres sensores infrarrojos Sharp Compone para medir la proximidad de un objeto (una mano humana) en una gama de 20 a 150 cm. La información obtenida de esta distancia de lectura es procesada por el ordenador a través de la plataforma de hardware de código abierto Arduino, que envía los datos a un parche diseñado a medida para este proyecto utilizando el lenguaje de programación Pure Data.

Esta instalación está sujeta a la interacción entre el usuario y los sensores. La interacción consiste en la activación de una grabación cuando una mano se acerca al sensor, lo cual genera desfragmentación de la onda de sonido en un efecto al azar, volviendo a su estado original cuando la mano se aleja del dispositivo. Cada sensor activa una grabación de campo tomada en las tres áreas que envuelven el concepto de poder en la Plaza de Bolívar de Bogotá, reflejo de

cualquier plaza pública comprendida en América Latina, el Palacio Presidencial (el pueblo), Catedral Primada (la iglesia). A través de la síntesis granular, es posible “rellenar” cada espacio mencionado anteriormente por medio del sonido, de la misma forma que los humanos ocupan o desalojan las construcciones arquitectónicas, desencadenando respuestas emocionales significativas en el proceso.

Finalmente, la interacción mecánico-dinámica, fue el resultado de la exploración y propuesta de un sistema desglosado en módulos prismáticos de base hexagonal, que con un lado constante y una altura variable tienen la autonomía de desplazarse de manera automática en el espacio para generar diferentes configuraciones y posibilidades de uso del lugar. Este proyecto se abordó en la línea del eje ambiental, al cual se le incluyó una programación para cercar el paso entre el usuario y Transmilenio, con la intención de evitar accidentes. Los tres prototipos funcionales fueron exhibidos y presentados en la feria, en su edición del año 2012, con gran acogida por parte de los asistentes.

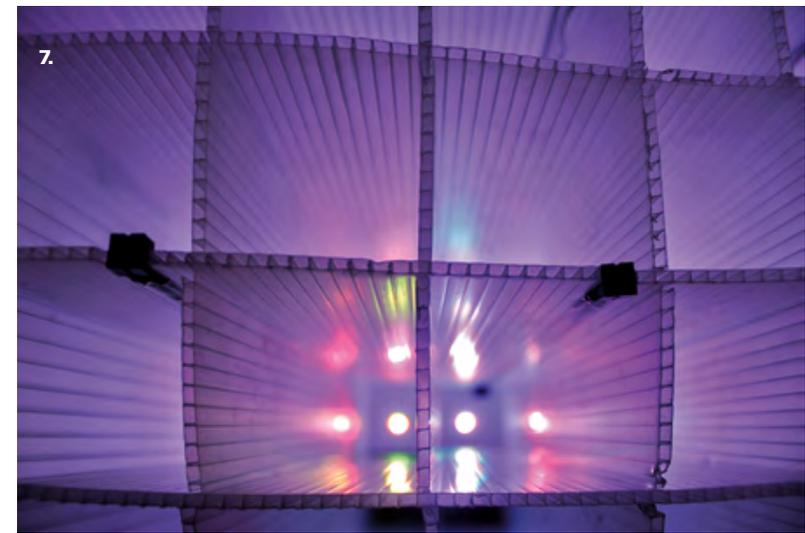
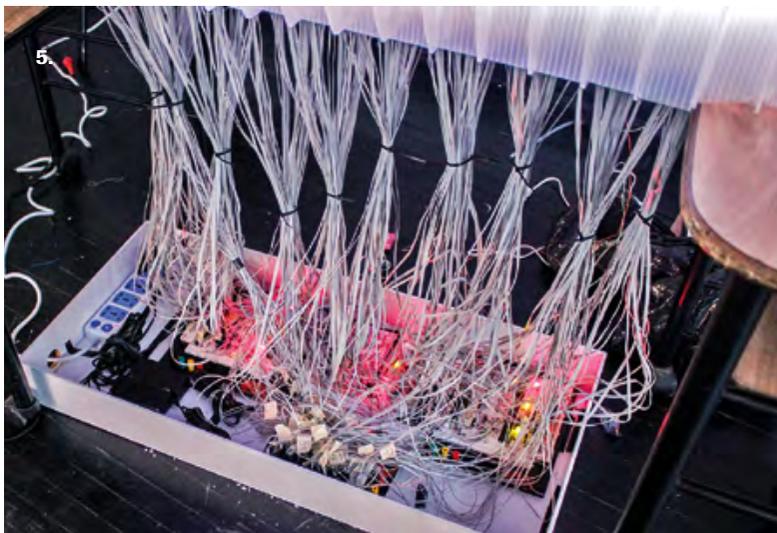


Figura 4. Prototipo instalación de sonido. / Fuente: Damian, D. (2012).

Figura 5. Prototipo instalación de luz. / Fuente: Damian, D. (2012).

Figura 6. Instalación de microprocesadores para control lumínico. / Fuente: Damian, D. (2012).

Figura 7. Prototipo instalación de luz. / Fuente: Damian, D. (2012).

<sup>3</sup> <http://www.grasshopper3d.com/>

# ESTRUCTURAS, MATERIALES Y FABRICACIÓN

**Ivanna Díaz Salazar**  
Editora

En el contexto de la Arquitectura contemporánea, las herramientas computacionales han ido asumiendo poco a poco el papel de eje director en procesos que abordan las etapas tempranas de concepción y materialización de una idea, hasta el desarrollo, simulación y fabricación del objeto arquitectónico en un entorno físico. En el transcurso de las últimas décadas, el concepto de *Arquitectura Digital*, nos ha permitido asumir la Arquitectura como un objeto maleable y versátil, que no sólo está sujeta a la capacidad y a los criterios de un solo arquitecto, sino que también permite incluir parámetros como la población, el entorno, los factores climáticos en tiempo real, además de dinámicas un poco más imperceptibles a las capacidades de una sola profesión, por lo que la Arquitectura, en la actualidad, se ha tornado de carácter multidisciplinar. La categoría de estructuras, materiales y fabricación”, involucra procesos que van ligados al concepto de creación de un proyecto, los factores considerados en el proceso de manufactura, y finalmente el desarrollo físico de la idea. Aunque la terminología no es ajena a los procesos tradicionales de diseño y construcción, durante la revolución industrial cada una de las tareas que involucran el proceso creativo en Arquitectura, fueron segregadas a pequeños procesos asumidos

por diferentes personas, desligando parte de la dinámica creativa que daba particularidad a cada pieza y dando paso a la serialización del diseño gracias a los procesos industriales involucrados.

A mitad de los años 80, impulsados por movimientos que trataban de conceptualizar la Arquitectura del futuro, varias investigaciones asumieron el papel de retornar los procesos de manufactura a los representantes y desarrolladores creativos que involucran Arquitectura, Diseño y Arte. Durante el proceso de transición de la herramienta física análoga a la herramienta digital, la multidisciplinariedad de las interrogantes que envuelven la humanidad se fueron intensificando, dando origen así a lo que se conoce como La Segunda Revolución Industrial, que democratiza los procesos de diseño y manufactura, fortaleciendo una red global de conocimiento, que gira en torno al empoderamiento de las herramientas por parte de los usuarios y no de la industria. En esta parte se datan proyectos relacionados con esta categoría, que ejemplifican en diferentes grados de desarrollo la aplicabilidad y uso de herramientas digitales, entre esas las más conocidas en procesos de desarrollo formal como Rhinoceros y Grasshopper, herramientas de optimización de material como RhinoCam, Rhinonest y

finalmente máquinas involucradas en los procesos de manufactura como las denominadas Control Numérico por Computadora (CNC).

Entre los precedentes del trabajo de la Universidad Piloto de Colombia que explora esta categoría, se tiene el Semillero de Tecnología Expresiva que comenzó en el año 2008 con la intención de acercar a los estudiantes a estos procesos que iban tomando posición a nivel global. Las actividades desarrolladas por los estudiantes y docentes encargados del grupo de investigación dieron origen a electivas como *Geometría Natural* y *Diseñar-Fabricar*, que fortalecieron las bases para crear un grupo de tesis de línea de investigación relacionada con *Diseño Digital* que desde el año 2013 están produciendo proyectos de esta índole. La participación en importantes eventos como la Feria del Mueble en Milán, Italia en 2012, o el desarrollo de proyectos acompañados con industria en Expoconstrucción, ha permitido que en la actualidad el semillero siga vigente con el desarrollo de proyectos académicos que van incrementando su carácter de desarrollo a medida que los laboratorios, como el Laboratorio de Fabricación (FABLAB), promueven nuevos espacios, para fortalecer los procesos investigativos ligados a la Arquitectura.

En este capítulo encontramos tres tipos de proyectos que ejemplifican el carácter de la categoría, en representación de la producción creativa de arquitectos y diseñadores nacionales e internacionales. En el grupo de Fabricación Digital se incluyen proyectos enfocados al área académica, los cuales en su mayoría son desarrollados en actividades colectivas, bajo el criterio de *aprender haciendo* y la exploración de materiales de uso común. En estos se incluye el trabajo de Bóvedas Metálicas de Pablo Baquero, Effimia Giannopoulou y Jaime Cavazos, el Instituto para la fabricación digital de Kevin Klinger, FURTSU de Francesco Milano y Karen Artoveza. En el segundo grupo se destacan proyectos que relacionan tipos de manufactura y desarrollo de objetos de mobiliario y acabados arquitectónicos, donde se encuentran proyectos como Cielo Dunar de Katherine Cáceres y Francisco Calvo, Mesas Wafflera y Fuchs de Gabriela González, Julián González y Juan Diego Ardila, y Geometrías Fresadas de Robert Trempe. Finalizando el capítulo se encuentra uno de los proyectos desarrollados por los estudiantes del Semillero de Tecnología Expresiva, en abril del presente año, con el que se dio inicio a las actividades de fabricación digital del 2016: Pabellón Funicular de César Díaz e Ivanna Díaz.

| Expo diseño / Expo construcción   |    |      |
|---|----|------|
| Revista Alarife:<br><i>Construcciones digitales</i>   | PB | 2007 |
| Semillero Tecnología Expresiva<br>(Hasta la fecha)  | SI | 2008 |
| Herramientas digitales en la formación académica, dentro del programa de Arquitectura de la UPC<br>(Finaliza 2010)                            | IN | 2009 |
| Eco - envoltentes<br>(Finaliza 2012)  | IN | 2010 |
| Expo Diseño y Expo Construcción   | PB | 2011 |
| Salone Satellite, Milano, IT  | EX | 2012 |
| Realidad aumentada: <i>Towards a Generative and Augmented View of Arch. Representation</i><br>(Finaliza 2013)                                 | IN |      |
| Fortalecimiento Académico-Investigativo de la Línea Institucional "Innovación y Tecnología" en el Programa de Arquitectura<br>(Finaliza 2016) | IN | 2013 |
| Seminario Internacional de Arquitectura: <i>The Digital Reveal: Arquitectura en la era Post-Digital</i>                                       | PB | 2016 |

PB: Publicaciones  
SI: Semillero de investigación  
IN: Investigación  
EX: Exposición

# INSTITUTO PARA LA FABRICACIÓN DIGITAL

Formulaciones del diseño a través de la producción

Durante la década del 2000, el discurso arquitectónico ha tomado un nuevo rumbo. Como consecuencia del efecto de lo digital en la corriente principal del pensamiento arquitectónico, nos encontramos en una evidente era de exploración. Las investigaciones ligadas a la fabricación digital han mudado de lo general a lo específico, mientras simultáneamente han contribuido a los discursos emergentes en áreas como la manufactura, el impacto social, las prácticas sostenibles y las estructuras biológicas.

El trabajo específico en la construcción de componentes de diseño acoplado con el desempeño basado en el rigor pragmático sobre la durabilidad, fuerza, el desempeño y la producción, ha provisto de ejemplos concretos en investigaciones relacionadas con las formulaciones del Diseño a través de la producción, dando lugar a una mejor claridad de que el estado del arte es un florecimiento dentro y fuera de la arquitectura.

En este momento en el mundo se ha dado lugar a un cambio en la producción (física y cultural) tan significativo como la Revolución industrial y posiblemente mayor al visto desde el último período medieval hasta el Renacimiento. A pesar de que el patrocinio como con los Médicos durante el Renacimiento no está claro hoy, el cambio en la producción está siendo dirigido

por la capacidad tecnológica y relacional de la información, ya que el trabajo se sincroniza constantemente con el software más reciente, permitiendo un intercambio masivo de información a través de todos los territorios culturales y políticos. Así mismo, las fronteras disciplinarias tradicionales altamente especializadas y sus metodologías han demostrado ser insuficientes para enganchar las cuestiones complejas e interconectadas de una sociedad global afectada por la tecnología de la información.

Al ofrecer una conectividad global, la comunicación digital se ha convertido en el centro de los procesos de diseño a través de la producción. El trabajo en equipo con pensamiento crítico sobre las máquinas, computación, y más específicamente las estrategias de interfaz humana, son esenciales para resolver los problemas complejos de hoy en día, los cuales abarcan de manera no sistemática nuestros métodos establecidos de resolución de problemas. William Mitchell resumió la necesidad de una nueva metodología sobre cómo nosotros abordamos las cuestiones del diseño contemporáneo con total claridad:

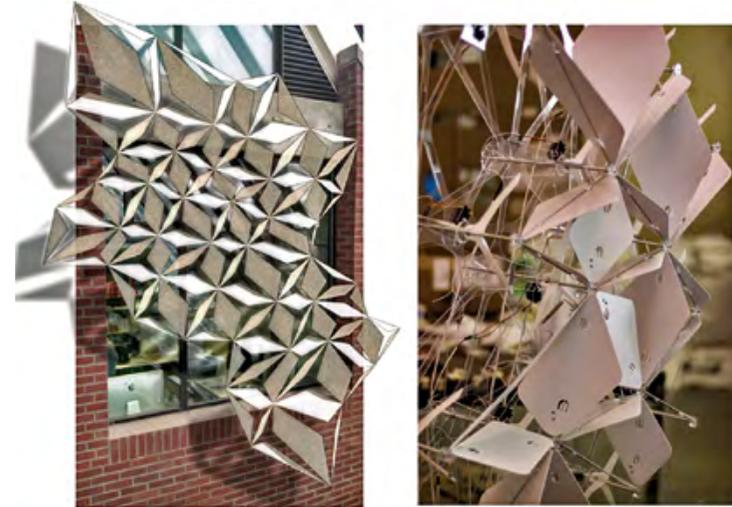
[Cita indentada] Uno de los grandes problemas con el diseño ha sido la forma en que las líneas se disuelven entre estas disciplinas tradicionalmente definidas... Los grandes e importantes problemas de

**Kevin R. Klinger**  
Director del Instituto de Fabricación Digital, Profesor asociado de Arquitectura  
Universidad Ball State University  
krklinger@bsu.edu

1.



2.



3.



**Figura 1.** Interior de oficina customizado digitalmente. / Fuente: Klinger, K. (2008). Centro para el diseño y medios. Instituto para la Fabricación Digital: Universidad Ball State.

**Figura 2.** Transformer. Sensor con pantalla sensible a la luz. / Fuente: Klinger, K., Cox, X., DeSmit, G., Haffenden, P., Peng, T. (2011). Instituto para la Fabricación Digital.

**Figura 3.** TetraMIN. Politetrafluoroetileno tejido a manera de módulos de agrupación. / Fuente: Klinger, K., Anger, D., Donnelly, K., Garrison, M., Haffenden, P., Kuk, K., Newman, D., Nordstrom, Reinhardt, Natalie., Zyck, William. (2010). Instituto para la Fabricación Digital: Universidad Ball State.

diseño simplemente no entran en una categoría más. Nosotros [en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT por sus siglas en inglés)] tenemos arquitectos, urbanistas, economistas, ingenieros mecánicos, frikis electrónicos, y los ponemos juntos en un entorno de diseño multidisciplinar intenso... es responsabilidad de todos contribuir a todo y educar al resto del grupo según sea necesario sobre los temas que más sepa. (Mitchell, 2009).

El Diseño a través de la producción puede encontrar soluciones únicas en cualquier región mediante la personalización de metodologías abiertas y compartidas a nivel mundial o a las condiciones locales; los investigadores se conectan a la corriente mundial de información sobre técnicas de diseño digital y participan las asociaciones de la industria local, y son invitados a agregar valor específico para retroalimentar los procesos. Reunir a los socios de la industria en la colaboración temprana añade valor tangible y práctico para el proceso de diseño desde el principio, lo cual presta un servicio tangible para la región al afectar la industria, tanto en la metodología como en la producción. No la región, si hay un material establecido, procesos culturales e industriales que pueden informar y ser informados por el intercambio de información digital en un proceso de diseño a través de la producción.

#### Referencias

» Mitchell, W. (2009). Carr. MIT Press.

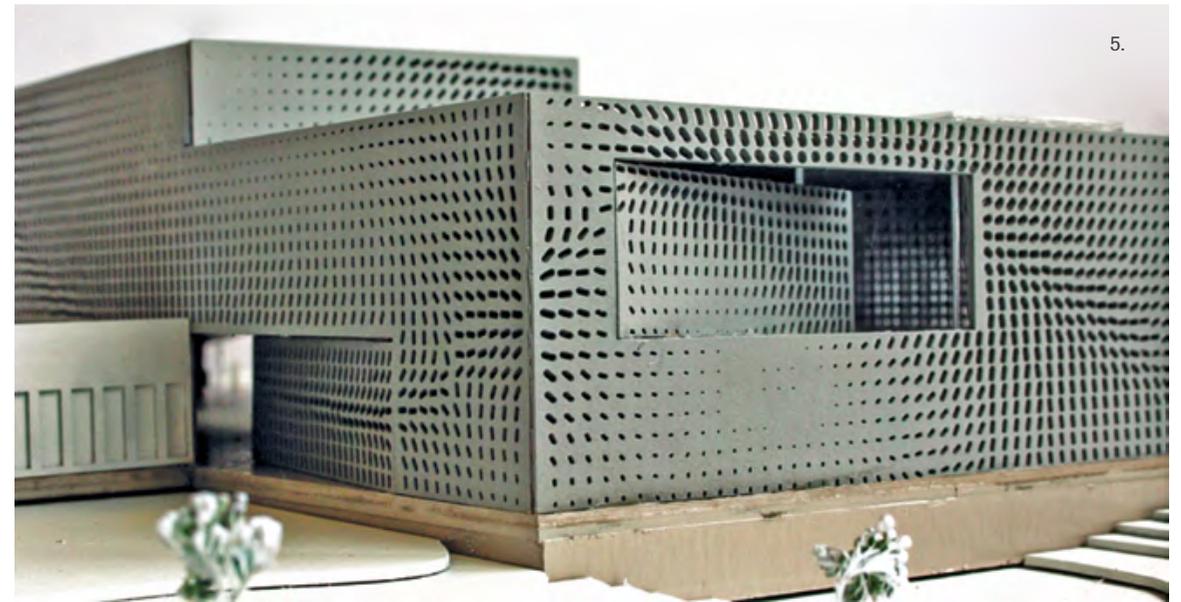
4.



**Figura 4.** Puente de Titanio. Esquema del Ball State usando 100% de titanio. / Fuente: Klinger, K., Lindsay, P., Kane, D., Colon, X. (2010). Instituto para la Fabricación Digital: Universidad Ball State.

**Figura 5.** Speedwaystudio. Esquemas adicionales del diseño propuesto para el Motor Speedway Hall of Fame Museum. / Fuente: Klinger, K., Burt, J., Felah, M., Flamm, M., Gerding, E., Han, M., LaPlante, M., Miller, A., McCurdy, K. (2010). Instituto para la Fabricación Digital: Universidad Ball State.

**Figura 6.** ReBarn. Colaboración, ensamblaje y ocupación (Metales Zahner, aluminio repujado y cerramiento en malla de gallinero). / Fuente: Klinger, K., Boone, E., Brockmeyer, E., Buente, A., Burt, J., Headley, D., Perry, D. (2010). Instituto para la Fabricación Digital: Universidad Ball State.



5.

6.



# CIELO DUNAR

Geometrías naturales y su traspaso al diseño y a la fabricación digital

**Katherine Cáceres Corvalan**  
**Francisco Calvo Castillo**  
 Dum Dum Lab  
 dumdum.lab@gmail.com

Cielo Dunar corresponde a un proyecto de diseño paramétrico y fabricación digital realizado en el año 2013 en el laboratorio de Prototipos de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de las Américas en Santiago de Chile, que cuenta con un espacio de trabajo de 42 mts<sup>2</sup>. Esta instalación se caracteriza por su complejidad formal y geométrica en contextos de escasez de materiales. A continuación se presentan los procesos de diseño y las negociaciones surgidas del desafío que consistió en llevar al límite formal, geométrico y estructural, un material como el cartón corrugado, que normalmente presta sus funciones como material de prototipado de índole *low tech*.

Durante todo nuestro proceso investigativo, hemos tenido a la naturaleza y sus características formales como el principal referente generador de geometrías complejas, desde los sistemas de fractales, hasta los movimientos pendulares producidos por la gravedad. En esta ocasión se dirige la investigación a los campos dunares y su proceso de transmutación. La complejidad morfológica de la acción del viento en la arena fue simplificada a su mínima expresión, por medio de una abstracción topológica.

Los protocolos de diseño fueron tres: la geometría, la estructura y la materialidad; el estudio geométrico consistió en el análisis morfológico de los cordones paralelos que se crean en los campos dunares y cómo estos pueden ser interpretados por medio de sistemas generativos. En cuanto a la estructura, las restricciones de constructibilidad en el lugar nos llevaron a evaluar la estructura del cielo americano existente como estructura soportante para la instalación; en cuanto a la materialidad, se realizaron una serie de prototipos a escala, que tuvieron que salvar ciertos criterios básicos del proyecto, como lo fueron: transporte, costo y desempeño.

El desarrollo del proyecto se vio afectado por las variables del traslado, la escasez de herramientas y la economía de los medios. Estas variables nos permitieron enfocar el desarrollo de alta tecnología únicamente en el proceso de diseño formal y geométrico de las instalaciones, versus el desarrollo de baja tecnología en cuanto a los materiales y soluciones constructivas propuestas.

La interpretación geométrica realizada sobre los campos dunares logró un desarrollo

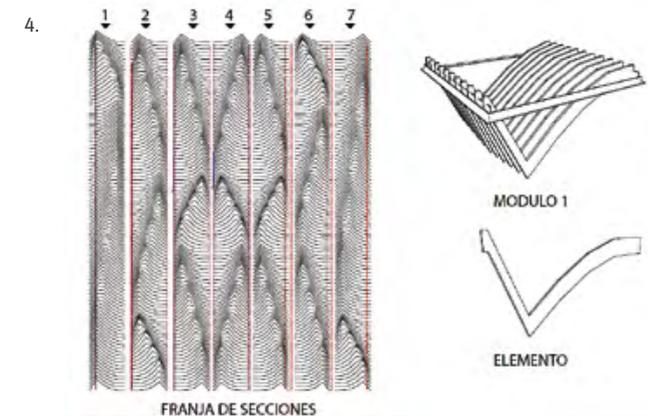
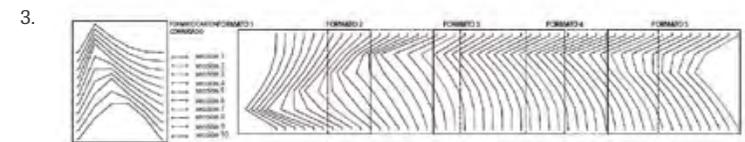
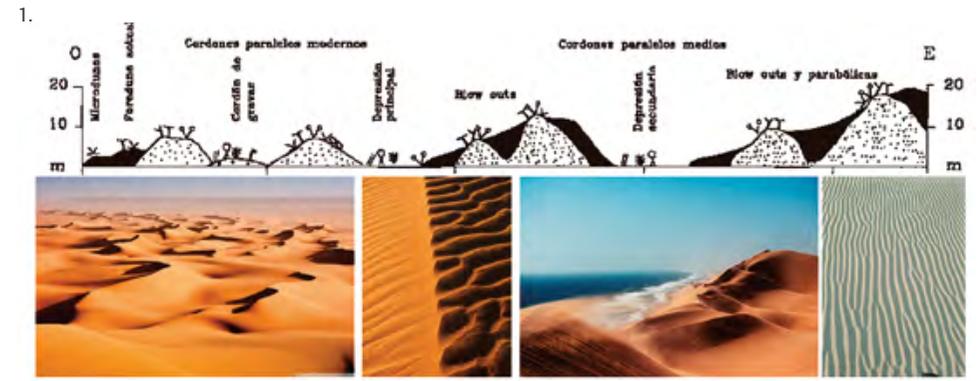


Figura 1. Perfiles fitogeográficos de dunas y Campos dunares. / Fuente: Cáceres, K. y Calvo, F. Cielo Dunar. (2013).

Figura 2. Digitalización de geometría natural de los campos dunares. / Fuente: Cáceres, K. y Calvo, F. Cielo Dunar. (2013).

Figura 3. Estudio de planos de corte sobre el formato del cartón corrugado para fabricación. / Fuente: Cáceres, K. y Calvo, F. Cielo Dunar. (2013).

Figura 4. Estudio de módulos para fabricación y esquema de ensamble. / Fuente: Cáceres, K. y Calvo, F. Cielo Dunar. (2013).

morfológico visualmente interesante. El sistema de transecciones<sup>1</sup> escogidos para desarrollar la morfología, dio como resultado geometrías dramáticas que interpretan de manera brusca los cordones de los campos dunares. La utilización de las transecciones como geometría base para la instalación, permitió pensar el diseño de la definición de Grasshopper enfocándose en la menor pérdida posible; múltiples materiales fueron testeados para el cielo. Finalmente el cartón corrugado fue el material escogido por su buen rendimiento estructural, su bajo costo y su fácil transporte y liviandad.

El proyecto Cielo Dunar fue el resultado exitoso de un proceso creativo donde tanto la inspiración geométrica como las variables de constructibilidad permitieron reconocer que el desarrollo y avance de las tecnologías de diseño y fabricación digital no implican necesariamente un costo mayor de las propuestas materiales. Es posible reconocer en materiales de bajo costo, materias primas para instalaciones de gran calidad tanto investigativa como de ejecución.

<sup>1</sup> Transección (transecciones plural) (cirugía): una corte transversal o división.



Figura 5. Esquema de armado de las secciones. / Fuente: Cáceres, K. y Calvo, F. Cielo Dunar. (2013).

Figura 6. Vistas de la configuración de módulos para instalación. / Fuente: Cáceres, K. y Calvo, F. Cielo Dunar. (2013).

Figura 7. Fotografías de montaje de los módulos sobre cielo raso. / Fuente: Cáceres, K. y Calvo, F. Cielo Dunar. (2013).



# BÓVEDAS METÁLICAS

Estrategias para estructuras en paneles de aluminio compuesto como elemento estructural

El presente proyecto muestra las estrategias de fabricación, parametrización y enseñanza usadas durante un taller en el que se desarrolló una estructura metálica abovedada a escala real y autoportante, realizada con métodos sencillos de manufactura digital. El objetivo principal fue construir un pabellón, así como investigar nuevos métodos de producción que promuevan la innovación en el campo de la Arquitectura. Otro objetivo fue el de investigar conceptos y técnicas de diseño para el desarrollo de una metodología que desafíe la percepción tradicional del objeto, creando de esta manera un marco abierto de pensamiento alrededor del diseño. Primero el proyecto fue realizado en el lugar del taller y posteriormente reconstruido para una exhibición de fachadas en Atenas Megaron Hall, en Grecia en octubre del 2014.

Con la implementación de herramientas computacionales hemos explorado los potenciales creativos de fenómenos dinámicos y emergentes, usando estrategias algorítmicas

para integrar lógicas de diseño computacional con construcciones físicas. El reto principal ha sido combinar la precisión tecnológica con el carácter creativo en un ambiente educativo y colaborativo, en el que redes de arquitectos, industrias locales y empresas que ayudan con materiales y provisionan de máquinas, trabajan simultáneamente compartiendo su conocimiento.

La metodología del taller estuvo organizada por clases teóricas, las cuales establecían herramientas que estaban directamente aplicadas.

Se hizo uso de éstas como plataforma para probar ideas, facilitando la producción de un proyecto físico. Seguimos como método de enseñanza la herramienta Grasshopper para ayudar a la edición y sistematización de las relaciones geométricas, tanto para las técnicas de modelado como para la fabricación. Igualmente, como parte de las clases, visitamos varias industrias de aluminio para entender más sobre ACP, sus propiedades y aplicaciones.

**Pablo Baquero**  
**Effimia Giannopoulou**  
**Jaime Cavazos**  
 Fabrerarium-Cavazos  
 paniba@faberarium.org - efeminno@faberarium.org - jaime@cavazos.gr

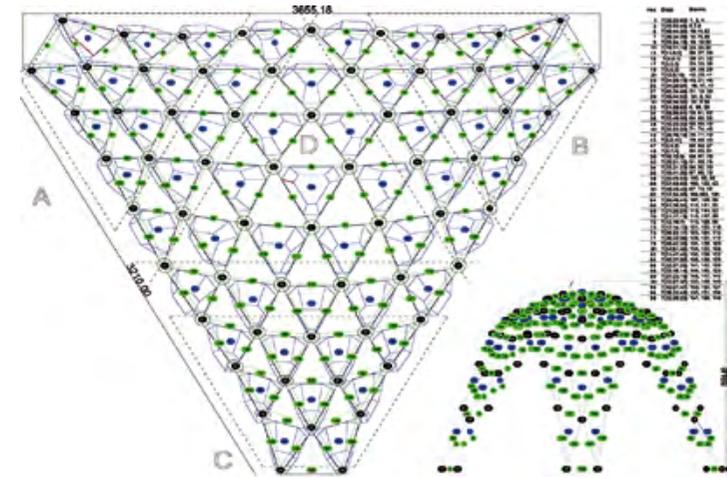
Figura 1: Localización de módulos dentro de la pieza general (marcación), Baquero, Pablo., Estrategias para estructuras en bóvedas metálicas, (2014).

Figura 2: Armazón y cáscara de la distribución de la deflexión, Baquero, Pablo., Estrategias para estructuras en bóvedas metálicas, (2014).

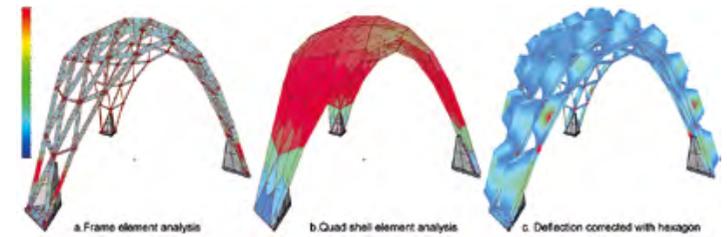
Figura 3. diagrama organizacional de los 3 sistemas, número y ubicación de las piezas. Estrategias para estructuras en bóvedas metálicas. / Fuente: Pablo Baquero (2014).

Figura 4. Todos los componentes organizados en el lugar del taller. Estrategias para estructuras en bóvedas metálicas. / Fuente: Pablo Baquero (2014).

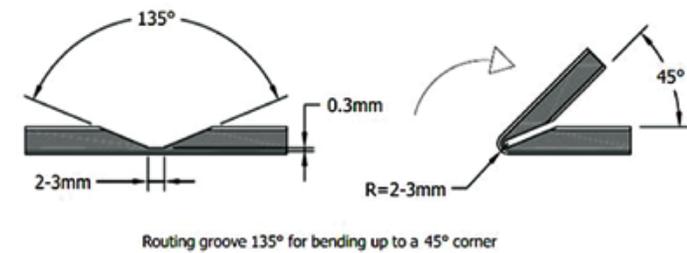
1.



2.



3.



Routing groove 135° for bending up to a 45° corner

4.



Durante la fase de investigación, la colaboración de una empresa de ingeniería fue bastante oportuna, pues nos ayudó a tener en cuenta las características de los materiales, el rendimiento, la distribución de fuerzas y cargas a lo largo de las uniones, aunque la materialización física, sin embargo, fue la única manera de comprobar la geometría y la rigidez estructural del sistema.

La intención era analizar el comportamiento de una estructura catenaria mediante una simulación en tiempo real, utilizando Kangaroo; plugin para la encontrar la forma y la relajación superficie como lo describieron los arquitectos/ingenieros Frei Otto, Antonio Gaudí y Robert Hooke. Al buscar inspiración en la naturaleza, al igual que los viejos maestros, el propósito era estudiar cómo una estructura de metal catenaria invertida respondería a la geometría y a las cargas de su propia estructura portante. Nos centramos en los nuevos métodos de diseño y construcción de un sistema de fachada en el que la estructura, las uniones y la piel se integran funcionando en un sistema estructural unificador, en la exploración de los materiales de uso común en la industria de fachada como perfiles de aluminio y paneles compuestos de aluminio (ACP, por sus siglas en inglés).



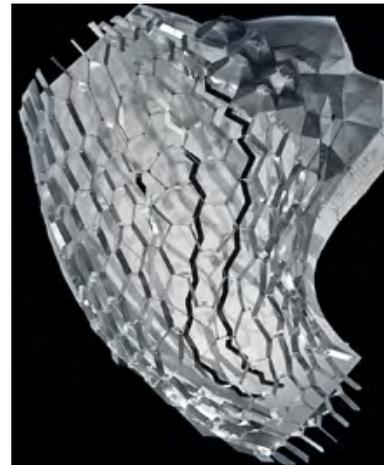
Figura 5. Montaje de las piezas. Estrategias para estructuras en bóvedas metálicas. / Fuente: Pablo Baquero (2014).

Figura 6. Proyecto "LaDose" fabricado como parte del taller. Barcelona, Thessaloniki. / Fuente: Pablo Baquero (2012-2013)

Figura 7. "Calycas" exhibidos durante la Conferencia Internacional de Fachadas, Atenas. / Fuente: Pablo Baquero (2014)

Figura 8. Detalle de unión en madera. -taller en Barcelona. / Fuente: Pablo Baquero (2013)

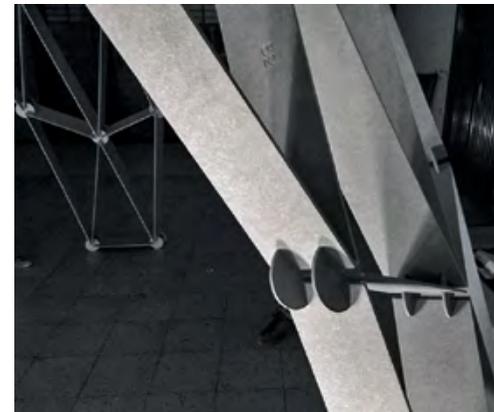
6.



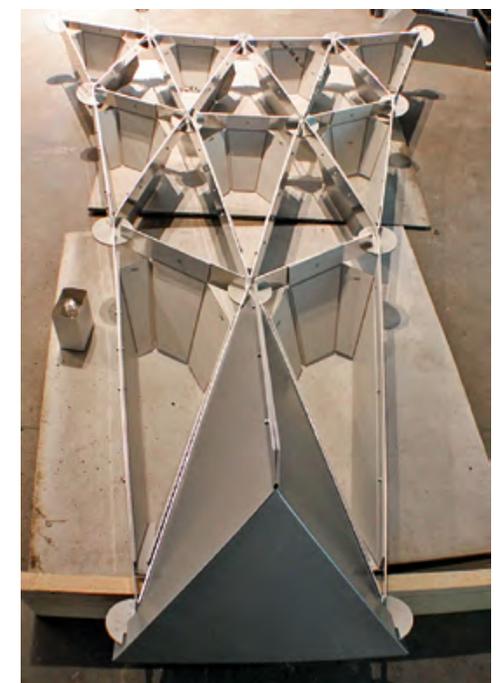
7.



8.



9.



10.



Figura 9. Parte del "Calycas". Atenas. / Fuente: Pablo Baquero (2014)

Figura 10. Muestra de una prueba en ACP. Pablo Baquero (2014)

# FURETSU

## Tectónica de una cúpula hecha en cartón

El diseño de FURETSU está inspirado en el esqueleto de una esferoidea y estructuralmente conceptualizado y proyectado enteramente mediante técnicas de diseño digital paramétrico con la aplicación del programa Rhinoceros y su plugin Grasshopper.

Se compone de una esfera de 3,5 mt de diámetro que conforma la geométrica del pabellón. El volumen de la esfera ha sido editado a través de una operación de panelización que permitió simplificar en una serie de elementos planos cuadrangulares la superficie curva original. Posteriormente fue descompuesto para eliminar del volumen resultante en la parte superior, lo cual correspondía a la singularidad de los meridianos, y después la parte inferior. A partir de la geometría obtenida se generaron dos sistemas paralelos: una estructura portante y el recubrimiento o envoltorio. La estructura portante nace de la extrusión hacia el interior de la esfera de los bordes de cada panel. El resultado es un sistema de nervaduras reticular que garantiza la distribución de las fuerzas (en este desarrollo se tuvo como referencia el Pantheon).

El recubrimiento o piel que se genera de la transición entre el borde de cada panel y una copia del mismo, fue reducido y desplazado hacia afuera según

una variable. El resultado de este proceso fue una cáscara compuesta por módulos en forma de pirámides truncadas como una serie de elementos que componen el recubrimiento del pabellón. Esta morfología está vinculada paraméricamente a variables, que generan leves mutaciones en la regularidad de los módulos.

La amplitud de las pirámides truncadas varía progresivamente en planta según la trayectoria de una curva sinusoidal de cuatro periodos, y en corte según la trayectoria de una parábola. El tamaño de los agujeros en cada módulo varía proporcionalmente a la combinación de la primera y la segunda curva.

La construcción del pabellón consiste en el ensamblaje de 640 piezas fabricadas por corte láser en cartón corrugado de 6 mm de espesor. El archivo de corte de cada pieza se genera automáticamente mediante una operación sistemática de despliegue, que aplanan en un espacio bidimensional los elementos tridimensionales del modelo. Cada pieza tiene un tag y está compuesta por dos partes: una propia del sistema estructural y otra propia del recubrimiento, unidas por un pliegue. La unión de cuatro piezas, mediante un sistema de macho-hembra, forma un módulo tipo caja que constituye el bloque arquitectónico fundamental del pabellón.

**Francesco Milano y Karen Antorveza**  
Directores de TaMaCo  
(Taller de Materiales y Construcción),  
Centro de Investigación en Diseño y fabricación  
Digital, Fundadores del estudio Formosa  
tamaco@chela.org.ar, francesco@chela.org.ar

Los 160 bloques se unen recíprocamente gracias a un sistema de conectores universales y tornillos. La particular forma de bóveda generada por la unión solidaria de los ladrillos garantiza la estabilidad arquitectónica del conjunto.

Figura 1. Gráfico de estudio topológico. / Fuente: Milano, F. y Antorveza, K. (2016). Furetsu.

Figura 2. Gráfico de curva de crecimiento y topología. / Fuente: Milano, F. y Antorveza, K. (2016). Furetsu.

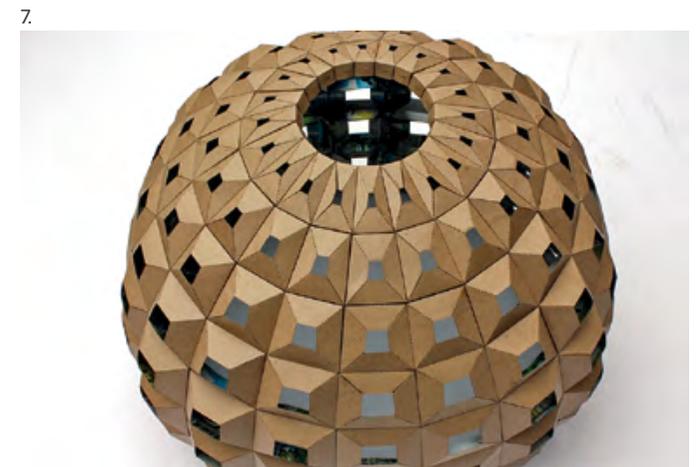
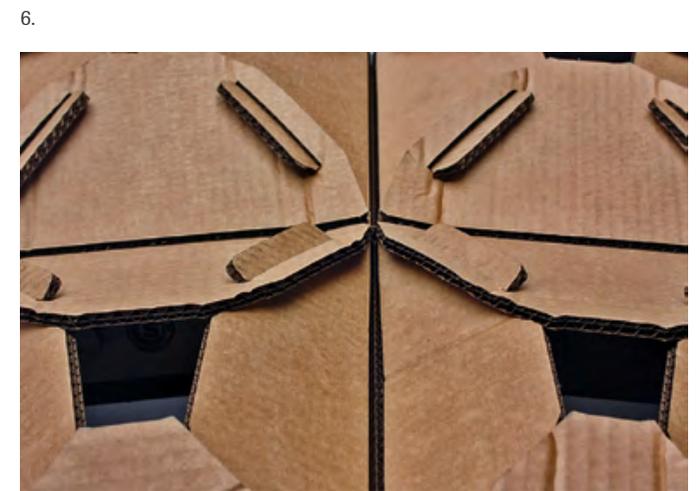
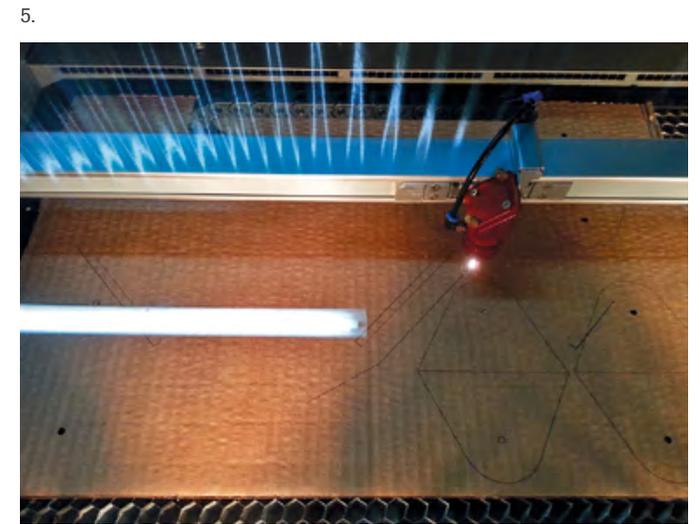
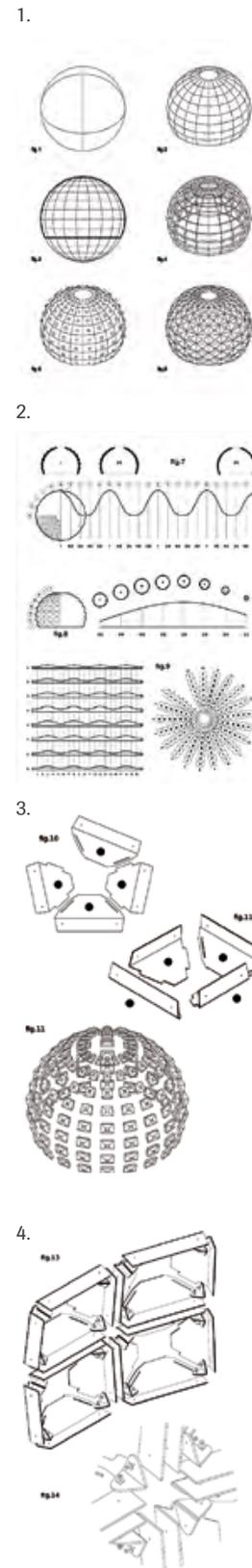
Figura 3. Despiece del módulo con pliegues, agrupación de módulos en pieza final. / Fuente: Milano, F. y Antorveza, K. (2016). Furetsu.

Figura 4. Detalle ensamble y uniones. / Fuente: Milano, F. y Antorveza, K. (2016). Furetsu.

Figura 5. Proceso de fabricación en corte láser, fotografía. / Fuente: Milano, F. y Antorveza, K. (2016). Furetsu.

Figura 6. Detalle de ensambles en prototipo final en cartón corrugado, Furetsu. / Fuente: Milano Francesco, Antorveza Karen (2016).

Figura 7. Modelo a escala, Furetsu. / Fuente: Milano Francesco, Antorveza Karen (2016).



8.



9.



10.



Figura 8. Furetsu vista interna. FURETSU. / Fuente: Milano Francesco, Antorveza Karen (2016).

Figura 9. Furetsu prototipo final vista nocturna, FURETSU. / Fuente: Milano Francesco, Antorveza Karen (2016).

Figura 10. Ensamblaje de módulos para fabricación de prototipo final en cartón corrugado, FURETSU. / Fuente: Milano Francesco, Antorveza Karen (2016).

Figura 11. Prototipo final vista diurna, FURETSU. / Fuente: Milano Francesco, Antorveza Karen (2016).

11.



# PABELLÓN FUNICULAR

Taller de Fabricación Digital

Este pabellón de estructura funicular se planteó como primer ejercicio del Semillero de Tecnología Expresiva en el 2016. El desarrollo de la pieza se llevó a cabo por parte de dos arquitectos diseñadores como tutores del proyecto y posteriormente se desarrolló la fabricación con el grupo de estudiantes pertenecientes al semillero de investigación, con el objetivo de mostrar a los estudiantes la lógica de los procesos de diseño y fabricación digital, construyendo una estructura autoportante a partir de la adición de piezas en cartón.

El desarrollo formal del pabellón comenzó con la generación de una configuración en árbol a partir de líneas, con las que posteriormente se dio forma a una malla cuadrilateral moldeada mediante procesos de simulaciones físicas en el entorno digital, las cuales aseguraron que la relación forma-estructura proporciona un elemento autoportante. En las iteraciones del proceso de diseño se evalúan diferentes variaciones de malla, la cual es manipulable y permite controlar el número y tamaño de las subdivisiones.

De esta manera se controla desde la etapa base de diseño los posteriores despieces de cada sección de la estructura, dentro de las limitantes del tipo de fabricación implementado en el desarrollo constructivo del prototipo real.

El total de módulos requeridos para la construcción del pabellón fue de 1.152 piezas irregulares, que fueron seriadas considerando el número de filas y la posición del módulo en su hilera respectiva. Posterior a la marcación de cada pieza se realizaron los respectivos desarrollos para producción, los cuales fueron ubicados en las láminas para corte láser mediante lógicas de optimización de material. El armado de la geometría fue llevado a cabo en la sede de San Cayetano de la Universidad Piloto de Colombia en la Calera, en una jornada de siete horas, bajo la dirección de profesores como apoyo a los estudiantes miembros del semillero quienes lideraron un grupo de 300 estudiantes de primer semestre de Arquitectura en el armado de módulos y el pabellón general.

**Ivanna Díaz, César Díaz**  
Profesora del Laboratorio de Fabricación Digital Universidad Piloto de Colombia / Director de Diseño en Frontis 3D  
Idiaz56@upc.edu.co / diseno@frontis3d.co

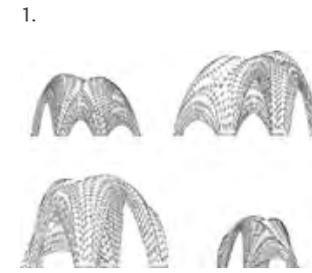


Figura 1. Vistas del pabellón general. / Fuente: Díaz, I. y Díaz, C. (2016). Pabellón Funicular. Universidad Piloto de Colombia, Semillero de Tecnología Expresiva.



Figura 2. Exploración formal del pabellón funicular, subdivisión de la malla en secciones cuadrilaterales. / Fotografía: Díaz, I. y Díaz, C. (2016). Pabellón Funicular, Universidad Piloto de Colombia, Semillero de Tecnología Expresiva.

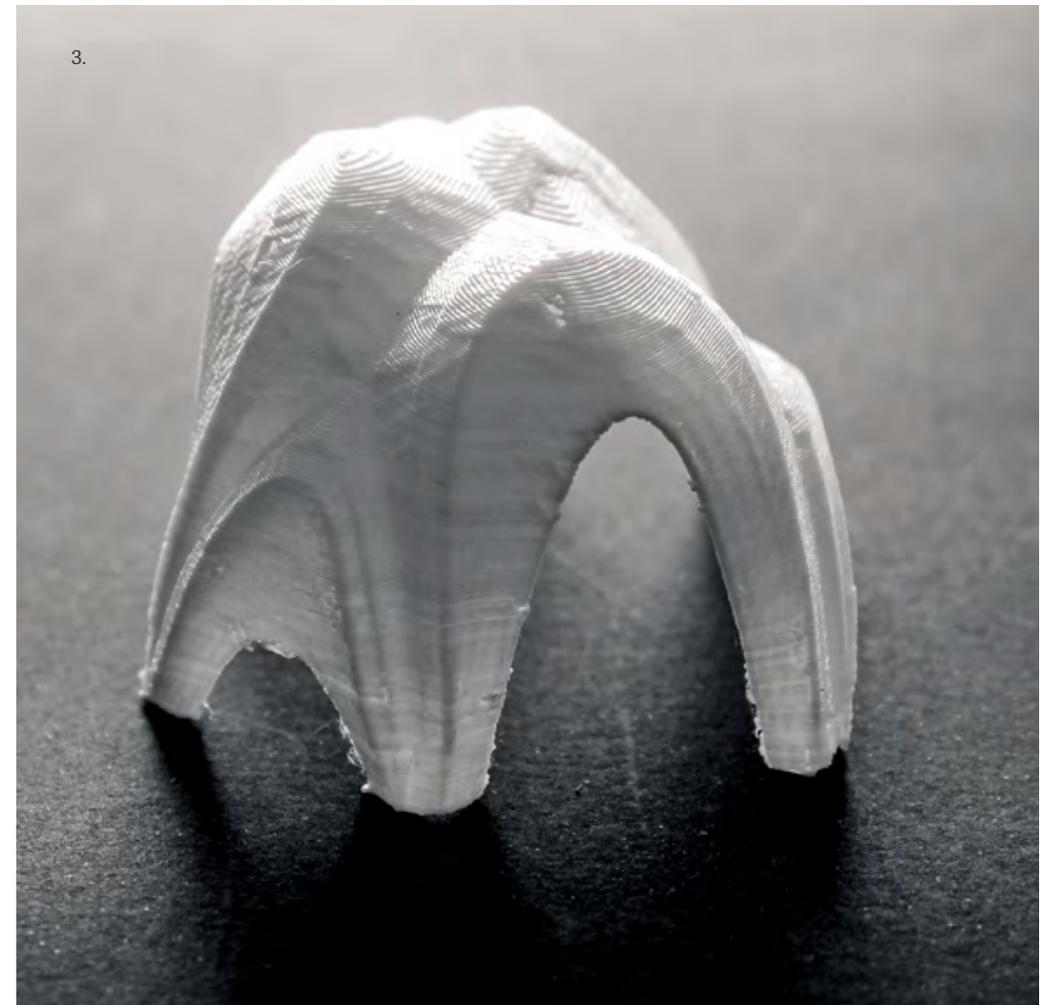
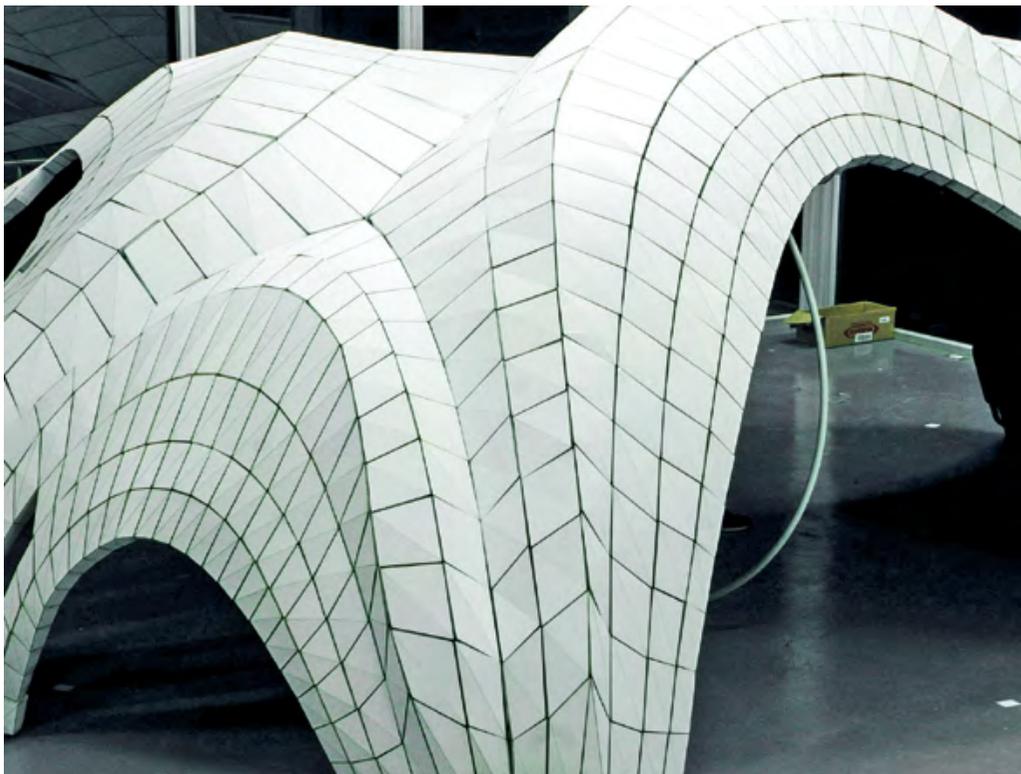


Figura 3. Prototipo de estudio fabricado en impresión 3D para la posterior fabricación en CNC Láser. / Fotografía: Díaz, I. y Díaz, C. (2016). Pabellón Funicular, Universidad Piloto de Colombia, Semillero de Tecnología Expresiva.

4.



5.



6.



7.



**Figura 4.** Prototipo final en cartón doble faz, vista nocturna en sede San Cayetano. / Fotografía: Díaz, I. y Díaz, C. (2016). Pabellón Funicular, Universidad Piloto de Colombia, Semillero de Tecnología Expresiva.

**Figura 5.** Detalle del prototipo. / Fotografía: Díaz, I. y Díaz, C. (2016). Pabellón Funicular, Universidad Piloto de Colombia, Semillero de Tecnología Expresiva.

**Figura 6.** Vista nocturna del prototipo final fabricado en cartón doble faz. / Fotografía: Díaz, I. y Díaz, C. (2016). Pabellón Funicular, Universidad Piloto de Colombia, Semillero de Tecnología Expresiva.

**Figura 7.** Prototipo final armado, vista nocturna sede San Cayetano, La Calera Cundinamarca. / Fuente: Ivanna Díaz, César Díaz (2016)

## MESAS WAFFLERA Y FUCHS

Serie explorativa de mobiliarios

El proyecto se trata de una serie explorativa de proyectos mobiliarios que se concentran en el estudio de un mismo objeto: mesas bajas o *coffee tables*. El proceso de trabajo fue desarrollado estratégicamente como una metodología de diseño y fabricación digital, de principio a fin, que buscaba establecer las bases para proyectos posteriores.

En el proceso de diseño de las Mesas Wafflera y Fuchs, se exploraron distintas geometrías, materiales y métodos de fabricación, al tratarse de proyectos personalizados, destinados para clientes y espacios distintos. La Mesa 'Wafflera' fue solicitada para una sala de reunión en una oficina; la Mesa 'Fuchs' fue desarrollada como mesa de apoyo para la sala de una casa.

La Mesa Wafflera fue el primer objeto de estudio. Varias geometrías fueron creadas y simuladas bajo diferentes tipos de fabricación como procesos de ruteado, fresado y corte láser. Sin embargo, una vez determinada la geometría final y luego de haber revisado varias fabricaciones para ésta, se evidenció que el sistema más eficiente para transmitir la geometría, con el menor uso de material y de tiempo de corte, era el sistema de planos seriados en dos ejes perpendiculares. Para ensayar este sistema de ensamblaje, se fabricaron tres prototipos con el fin de estudiar el rango de posibilidades que ofrecen los espesores del material (Medium Density Fibreboard (MDF)) y la distancia en que se pueden ubicar las piezas. Los primeros

dos prototipos fueron creados en MDF crudo y cortados y grabados con Cortadora Láser, éstos tomaron siete y trece horas en armarse. El tercer prototipo  $\frac{3}{4}$  que fue entregado al cliente  $\frac{3}{4}$  fue fabricado en MDF pintado, cortado y grabado en ruteadora CNC, y tomó tres horas en armarse.

Para el proyecto de la Mesa Fuchs, se definió el uso del mismo sistema de fabricación que la Mesa Wafflera: planos seriados en dos ejes perpendiculares; la exploración de este proyecto se enfocaría en concentrar una geometría compleja en un objeto relativamente pequeño y en el uso de un nuevo material: acrílico fabricado en color personalizado. Este objeto fue estudiado extensamente a través de programas digitales para generar muchas geometrías distintas en un periodo de tiempo limitado (Rhinoceros + Grasshopper). Además, en vez de fabricar varios prototipos, se cortaron peñillas de 10 x 10 cm del material seleccionado, con el fin de experimentar espesores de encajes.

Se fabricó un solo prototipo, que fue cortado y grabado con cortadora láser en un MakerSpace local, y entregado al cliente 24 horas después. La puesta en marcha de esta metodología de diseño y fabricación, facilitó la exploración de más de una variable al tiempo, y permitió la fabricación rápida, precisa, de bajo costo e impacto ambiental, de los prototipos necesarios para determinar los aspectos finales de cada proyecto.

**Gabriela Gonzáles**  
**Julián González**  
**Juan Diego Ardila**  
Fundadores Pseudorama  
hola.pseudorama@gmail.com

**Figura 1.** Etiqueta para prototipo final de Mesa Fuchs en acrílico. / Fuente: González, G., González, J. y Ardila, J. D. (2015). Mesa Fuchs.

**Figura 2.** Prototipo final de modelo Mesa Fuchs en acrílico rojo de 3mm de espesor. Fabricación de planos en corte láser. / Fuente: González, G., González, J. y Ardila, J. D. (2015). Mesa Fuchs.

**Figura 3.** Prototipo final de modelo Mesa Fuchs en acrílico rojo de 3mm de espesor con superficie en vidrio. Fabricación de planos en corte láser. / Fuente: González, G., González, J. y Ardila, J. D. (2015). Mesa Fuchs.

**Figura 4.** Render Mesa Wafflera 3mm. Material MDF pintado. / Fuente: González, G., González, J. y Ardila, J. D. (2015). Mesa Wafflera.

**Figura 5.** Render vistas Mesa Wafflera. Material MDF pintado. / Fuente: González, G., González, J., y Ardila, J. D. (2015). Mesa Wafflera.

**Figura 6.** Render Mesa Fuchs. Material acrílico. / Fuente: González, G., González, J. y Ardila, J. D. (2015). Mesa Fuchs.

**Figura 7.** Render Mesa Wafflera 3mm. Material MDF pintado. / Fuente: González, G., González, J. y Ardila, J. D. (2015). Mesa Wafflera.

2.



4.



6.



MESA FUCHS 1.

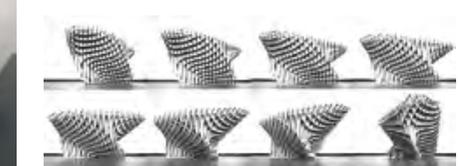
Esta pieza es única, limitada y fabricada digitalmente para ti. Además, el haber sido producida y entregada en Bogotá (Colombia), tiene una huella de carbono reducida.



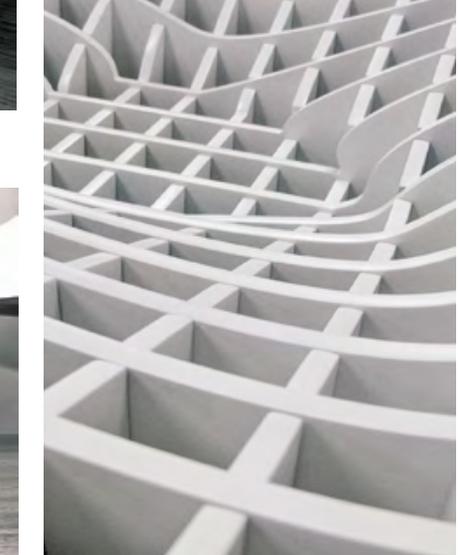
3.



5.



7.



## GEOMETRÍAS FRESADAS

Dibujando para la manufactura usando el dibujo y el proceso

La desconexión entre la mecánica visual de la representación computacional y la articulación física de la geometría en la manufactura por CNC fue la interrogante con la que comenzó la formulación de una metodología que, en lugar de invertir tiempo excesivo tratando de eliminar las marcas de la manufactura por CNC en los procesos de fabricación, buscaba alinear estos rastros de manufactura a los procesos iniciales por los cuales surgió la representación original del dibujo.

Una de las numerosas cualidades encontradas en las geometrías de conjuntos de la Base no Uniforme Racional B-Spline (NURBS, por sus siglas en inglés), es la habilidad de la representación de las isocurvas para articular visualmente los cambios en la geometría a través de ajustes graduales en su espaciado. A diferencia de otras formas de representación computacional de superficies como la triangulación, el mallado y la subdivisión de superficies, la representación de las isocurvas de las NURBS, presentan una continuidad visual y una transición bien situada hacia una manufacturación por medio de una CNC router de 3 ejes. Además, las isocurvas representan una articulación virtual, aunque se regulan por la manufactura física.

Para investigar la relación entre el proceso digital y la fabricación, es necesario comprender los fundamentos en la

construcción de una superficie de NURBS articulando la geometría visual de las isocurvas, lo cual la convierte en la columna vertebral de la relación entre la geometría virtual y la manufactura física. Esta geometría debe ser modelada de manera adecuada, explotando las reglas de la construcción de la superficie de NURBS para conectar apropiadamente a los procesos de fabricación. Hay bastantes beneficios en esta práctica de fabricación, incluyendo la capacidad de fabricar geometría artesanal en materiales frágiles, una eficacia de tiempo hacia una articulación física, además del hecho de que el producto físico involucra una formalidad en el proceso con el uso de su articulación virtual a través de las herramientas.

Con el empleo de las isocurvas de las NURBS como base, la máquina sigue los rasgos de la geometría computacional según lo establecido por las isocurvas que representan la geometría.

Las operaciones de fresado por defecto, terminan ignorando las características de la geometría computacional a través de una impresora de inyección de tinta de acción de ida y vuelta, a veces dañando la geometría delicada. En el tratamiento de las isocurvas como herramientas, los movimientos de fresado se mueven con la geometría computacional, en lugar de combatirla, teniendo en cuenta las delicadas características de la geometría.

### Robert Trempe

Profesor asociado de Arquitectura  
The Aarhus School of Architecture  
rbt@aarch.dk

Un beneficio adicional en este proceso es que los tiempos de fabricación, a menudo son menores en la medida en que cada trayectoria está especificada en términos de lo que refleja la geometría virtual a través de la fabricación física. El uso de la geometría representativa, a través de producciones físicas, traduce una fabricación más rápida, así como el uso de menor material para remoción y la precisión de cada trayectoria en el momento de la fabricación se articula correctamente con la geometría producida.

Finalmente, como las trayectorias se toman directamente desde las isocurvas NURBS de representación, la geometría del elemento trabajado es reflejado en el proceso de fabricación y el producto final. De esta forma, el producto final usa todo su proceso, desde la articulación del diseño, hasta la fabricación física. En esencia las marcas de las herramientas son un artefacto de todo el proceso de diseño.

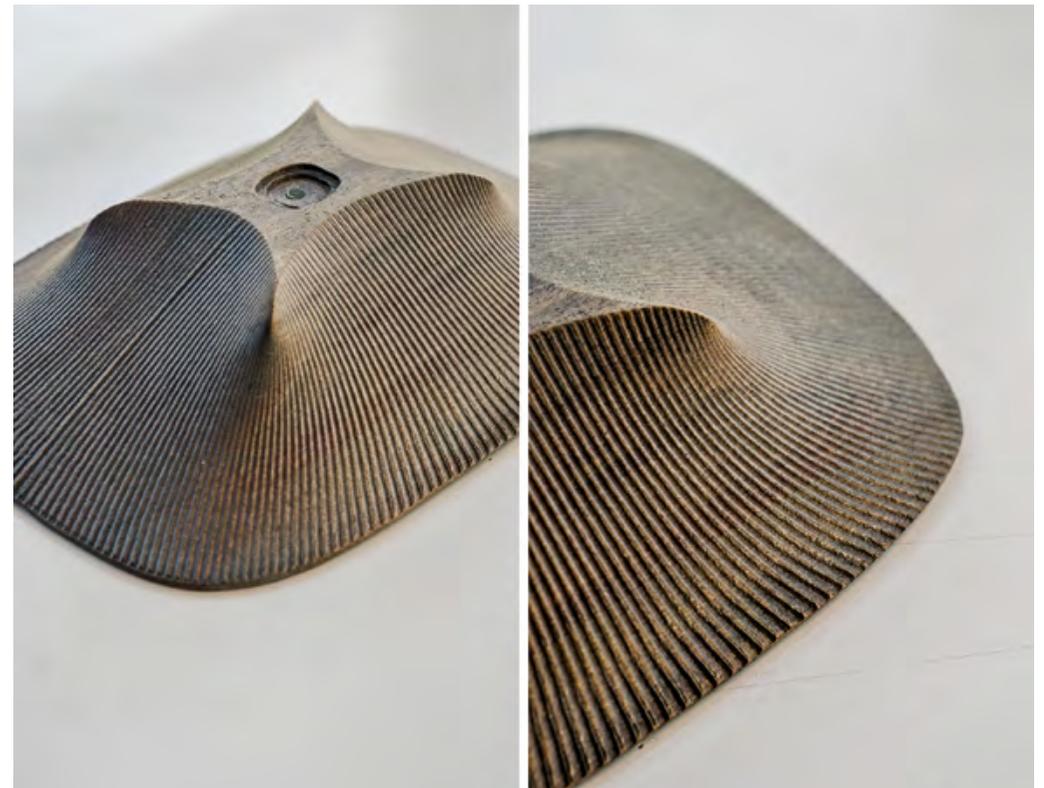
**Figura 1.** Prototipo de pieza en madera lacada... / Fuente: Trempe, R. (2015). *Drawing for Manufacturing*. Escuela de Arquitectura Aarhus.

**Figura 2.** Prototipo de pieza en madera lacada... / Fuente: Trempe, R. (2015). *Drawing for Manufacturing*. Escuela de Arquitectura Aarhus.

1.



2.



3.



4.



Figura 3. Prototipo de pieza en madera lacada... / Fuente: Trempe, R. (2015). Drawing for Manufacturing. Escuela de Arquitectura Aarhus.

Figura 4. Prototipo de pieza en madera lacada... / Fuente: Trempe, R. (2015). Drawing for Manufacturing. Escuela de Arquitectura Aarhus.

## BANCAPAR

Objeto paramétrico de arte público con diseño colaborativo y manufactura no industrializada

BANCAPAR (proyecto ganador de Fondart Regional 2013 y CLAP Platinum 2015) es un banco paramétrico diseñado y concebido como un objeto de arte público, que surgió a partir de la autogestión y la autoría compartida para el ingreso de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad del Bío-Bío, en Concepción, Chile. La utilización de fórmulas paramétricas en una prefiguración caracterizada por el diseño colaborativo entre equipos de dos universidades y países Latinoamericanos (UBB-Chile y UNL-Argentina), ha disuelto el concepto de autor/es y su obra por la manipulación de un algoritmo inicial, potenciando la imaginación de los diferentes sujetos involucrados en el proceso.

La adopción de tecnología mecánica con plegado manual (manufactura no industrializada) si bien ha sido, en primera instancia, una adopción forzada por limitación tecnológica contextual, se transformó en una posibilitante de la identidad del objeto siendo determinante en la definición de su forma final. Las propiedades espaciales y materiales de componentes plegados desiguales se integra a las *secciones apropiables* generando aproximaciones armónicas entre los diferentes instrumentos y conceptos utilizados. La ejecución material (inicialmente pensada para fabricación con CNC Wire-Bending) comienza

mediante plantillas gráficas impresas y posterior plegado de 106 piezas formadas por pletinas de acero de 5 cm de ancho por 6 mm de espesor. La utilización de 3.000 kg de acero, armado de estructura de montaje, el doblado durante meses y la terminación galvanizada final de cada pieza, ha insumido un costo total aproximado de U\$ 23.000 para un objeto de dimensiones variables de 10 m de largo x 2,5 m de ancho.

En respuesta a los procesos tradicionales de diseño y fabricación, podríamos asumir que no hemos diseñado un objeto finito, sino que se han adoptado estrategias para construir geometrías siempre modificables.

Así, se invierten algunos métodos tradicionales de creación: cuando el artista persigue una forma final, se define una estrategia dinámica que propone familias de soluciones; cuando el diseñador presume de gestualidad personal, se proponen diferentes formas de colaboración ante el modelo romántico del autor único y solitario; y cuando la obra se presenta como producto único con un criterio estético determinado, se propone una fórmula de procesos que posibilitan diversidad en su interpretación en cualquier instancia de su ciclo hermenéutico.

### Nicolás Saez

Profesor de la Universidad del Bio-Bio (Chile)  
nsaez@ubiobio.cl

### Mauro Chiarella

Investigador CONICET, Profesor Titular  
Universidad Nacional del Litoral (Argentina)  
chiarell@fadu.unl.edu.ar

1.



2.



3.



**Figura 1. Etapa Prefigurativa:** proceso iniciado desde Secciones Apropiables (UBB: Saez; FADU-UNL). / Fuente: Chiarella; Dalla Costa; Veizaga; Gronda/FONDECYT núm. 3110025-Chiarella.

**Figura 2. Etapa Configurativa:** proceso de manufactura no industrializada. / Fuente: Nicolas Saez-UBB/Fondart; Luis García Lara-FabLab Concepción.

**Figura 3. Etapa Refigurativa:** primeros registros de experiencia de uso y percepciones diferenciadas. / Fuente: Nicolas Saez-UBB/Fondart.



