

SEMINARIO INTERNACIONAL DE ARQUITECTURA / 2016

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

Editores:
Rodrigo Velasco, Diego Chavarro
Aaron Brakke, Ivanna Diaz



UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

José María Cifuentes Páez

Presidente

Patricia Piedrahita 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

Patricia Farfán

Decana Administrativa

Programa Arquitectura

Édgar Camacho

Decano Académico

Programa Arquitectura

Seminario Internacional de Arquitectura.

The Digital Reveal

Arquitectura de la era Pos-digital

Edición No.1 - 2016 (Bogotá, Colombia)

ISSN: xxxxxxxxxxxx

Copyright ©

Autores: Brady Peters; Ingrid Paoletti;
Michael Hensel; Daniel Cardoso*; Clemens
Preisinger; Shrikant Sharma*; Mostapha
Sadeghipour; Marc Fornes*; Mike Szivos;
Sean Ahlquist; Pablo Herrera.

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

Diseño de portada

Coordinación de publicaciones
Programa de Arquitectura

Imagen de portada

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

Diagramación y diseño

Daniela Sánchez H.
Coordinación de Publicaciones,
Michelle Castillo
Apoyo Coordinación de Publicaciones

Impresión:

Digiprint Impresores

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 Workshop). 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. 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

- 12 Diseñando el futuro. Arquitectura, simulación y computación
Brady Peters
- 22 Personalización avanzada para el diseño arquitectónico y la construcción: Panorama y experimentaciones
Ingrid Paoletti
- 30 Arquitectura orientada por el desempeño y diseño generado por datos
- 40 **Michael U. Hensel, Søren S. Sørensen**
Máquinas Fantásticas
Daniel Cardoso Llach
- 48 Patrones de flujo de trabajo para ingeniería estructural paramétrica
Clemens Preisinger, Robert Vierlinger, Moritz Heimrath
- 58 Simulación de la experiencia del usuario:
Shrikant Sharma, Buro Happold Smart Space
- 66 Diseño medioambiental para edificios, como proceso iterativo empleando herramientas computacionales
Mostapha Sadeghipour Roudsari
- 72 El Arte de lo Prototípico
Marc Fornes
- 80 Se ve bien en papel: Especulación y Construcción
Mike Szivos
- 88 Responsividad social y sensorial en arquitecturas de materiales
Sean Ahlquist
- 100 Programación y fabricación digital en Latinoamérica: Problemas y Perspectivas
Pablo C. Herrera

PROYECTOS

ENVOLVENTES PARAMÉTRICAS /

- 114 Fachada para el de Emerson College de Los Angeles Center
Satoru Sugihara
- 116 Sistema plegado
César Díaz
- 118 Fruncido Robótico Reticular:
Andrew Saunders
- 120 Diseño de un espacio con eficacia funcional
Camilo Andrés Cifuentes Quin
- 122 Sistema de cortasoles responsivos
Rodrigo Velasco
- 124 Responsive Skins:
Fabiano Continanza, Jimena Araiza
- 126 Innovación en Envolventes Cerámicas:
Ramón Galvis Centurión, Carmen Xiomara Díaz Fuentes

ESPACIOS INTERACTIVOS /

- 130 Contenido Digital y Redes en línea
Andrés Barrios
- 132 Ciudades Invisibles:
Alejandro Puentes Amézquita, Yiyang Liang
- 134 NESL
Design Futures Lab
- 136 Hypercell
Pavlina Vardoulaki, Ahmed Shokir, Cosku Çinkiliç, Houzhe Xu,
- 142 Pabellón Interactivo
David Dória
- 144 Mobiliario Urbano Interactivo
Ivanna Díaz

ESTRUCTURAS, MATERIALES Y FABRICACIÓN /

- 150 Instituto para la Fabricación Digital
Kevin R. Klinger
- 154 Cielo Dunar
Katherine Cáceres Corvalan, Francisco Calvo Castillo
- 158 Bóvedas metálicas:
Pablo Baquero, Jaime Cavazos, Effimia Giannopoulou
- 160 Furetsu
Francesco Milano, Karen Antorveza
- 164 Pabellón Funicular
Ivanna Díaz, César Díaz
- 168 Mesas 'Wafflera' y 'Fuchs'
Gabriela Gonzales F., Julián González M., Juan Diego Ardila G.,
- 170 Geometrías fresadas:
Robert Trempe
- 172 BANCAPAR
Mauro Chiarella

PRÓLOGO

Patricia Farfán
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 *The Digital Reveal: Arquitectura en 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), y “Máquinas fantásticas”, de Daniel Cardoso (Carnegie Mellon). 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), “Simulación de la experiencia del usuario: optimización de diseño para confort de los visitantes”, de Shrikant Sharma (Buro Happold), 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 “El arte de lo prototípico”, de Marc Fornes (Theverymany), “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: “Envolventes 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. Rodrigo Velasco y Aaron Brakke Docentes investigadores del programa de Arquitectura.



CONFERENCE

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

► 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]¹

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 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,

¹ . 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.

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:

[cita indentada]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]²

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 Generative-Components (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 la especificación del software (Peters y Peters, 2013). Otro software paramétrico, Grasshopper, se

² 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*).

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]³

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

³ 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.

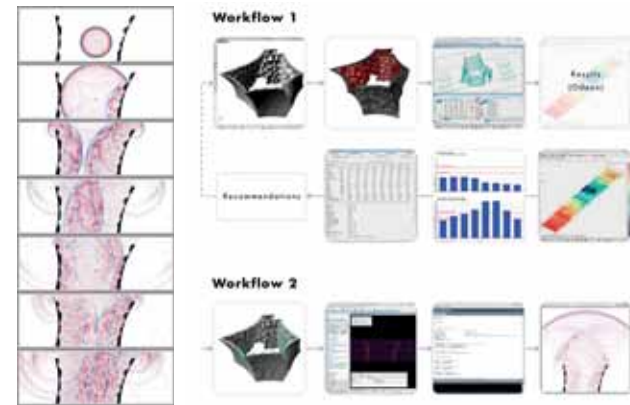
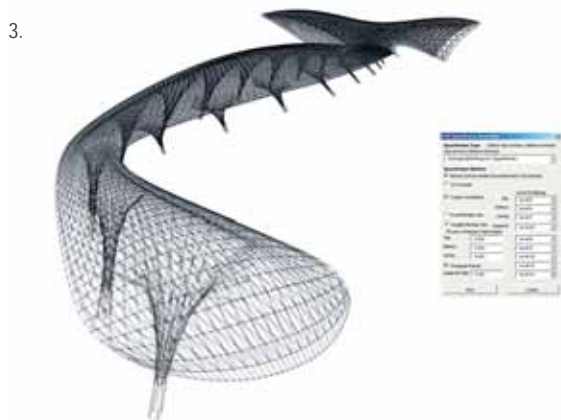
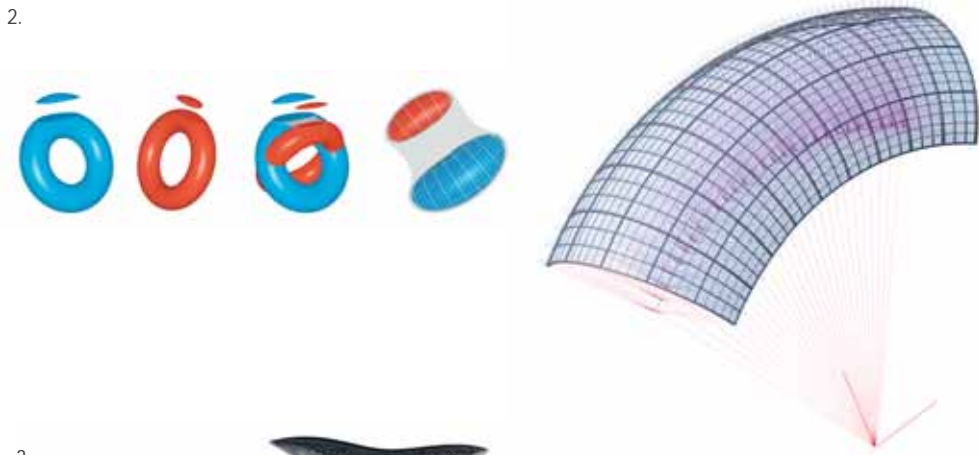
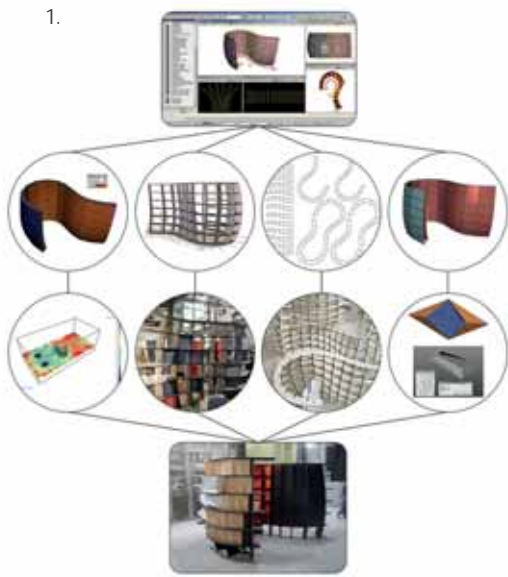


Figura 1. Proyecto de Manufactura de Superficies Acústicas Paramétricas / Fuente: Manufacturing Parametric Acoustic Surfaces, SmartGeometry. (2010). Barcelona.]

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).]

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 al 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]⁴

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

⁴ 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.

► 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]⁵

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 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

⁵ 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”.

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 disciplinares 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). Recuperada 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 enseña 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 un 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

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.

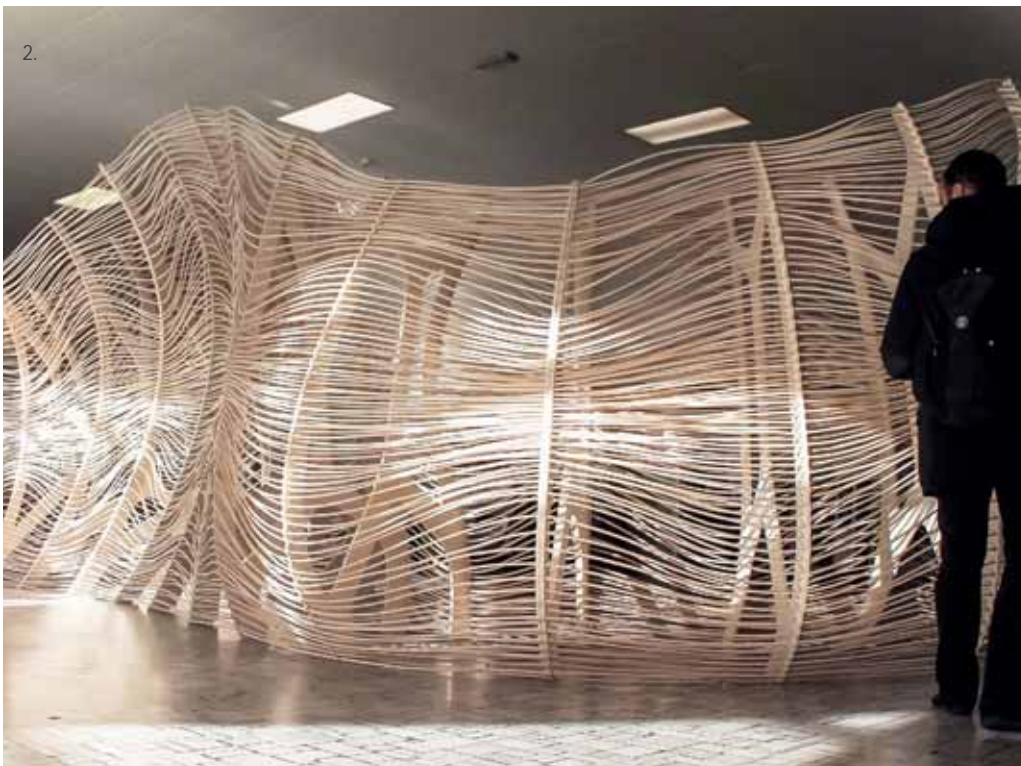
Los intereses del grupo se centran en formas contemporáneas de la utilización de diferentes herramientas aplicadas al diseño, y en la fabricación y gestión de tecnologías innovadoras y de vanguardia. En este sentido, hay tres líneas de investigación que se cruzan entre sí. La primera se enfoca en herramientas 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

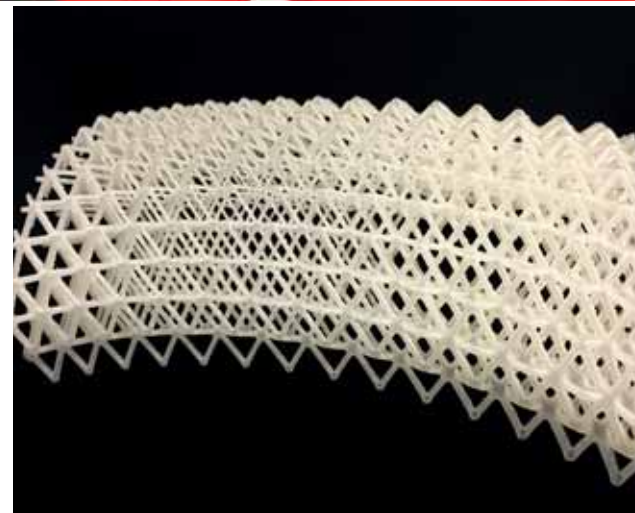
es proponer una comprensión algorítmica de los procesos, y ver cómo se pueden incluir en el flujo del trabajo computacional. Un ejemplo de esta primera línea de enfoque se centra específicamente en el hueso humano, ya que éste representa una referencia importante de un sistema arquitectónico ligero ya 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 verticales combados de madera contrachapada deformada y



4.



5.



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).

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
- » 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. 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 del Building Technology at the Architecture, Built Environment and Construction Department (ABC) en el Politecnico di Milano. 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 - sss@aho.no

Nuestra aproximación a la arquitectura se enfoca en la noción de desempeño basada en la teoría del Actor-Red¹, 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

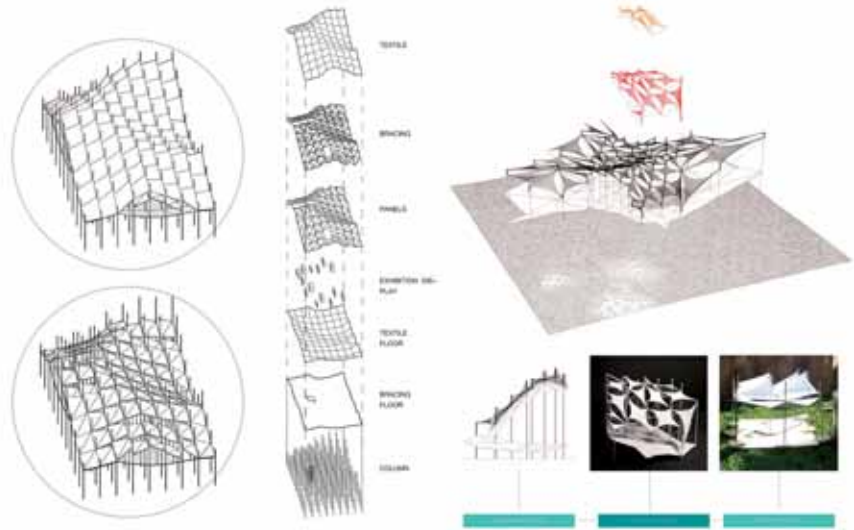
¹ Véase https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_del_Actor-Red

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 consistía 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



1.



2.

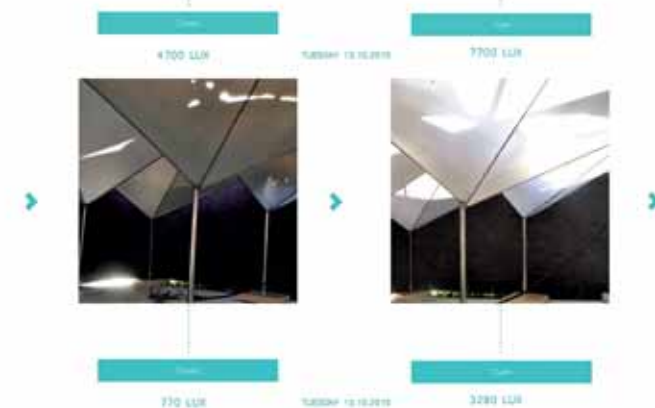


Figura 1. Arquitectura orientada hacia su desempeño. Oslo, Noruega. / Fuente: Hensel, M. (2015).

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

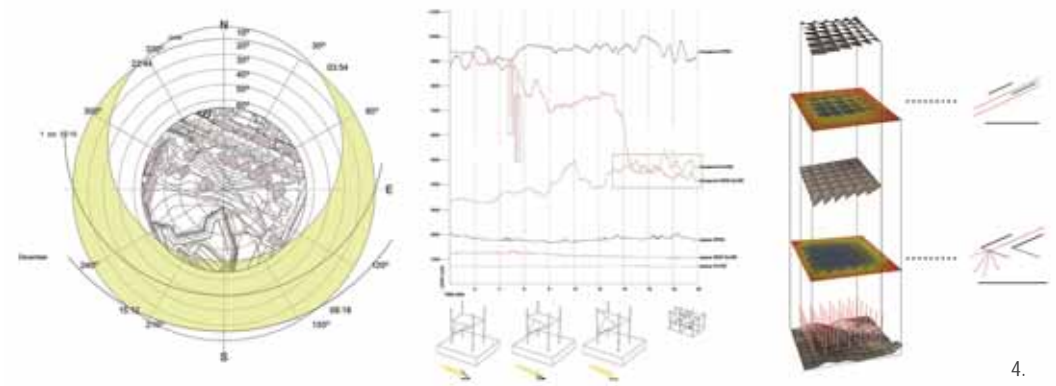


Figura 3. Interacción del edificio de múltiples envolturas con las condiciones climatológicas, con la ayuda de Arduino. Oslo, Noruega. / Fuente: Hensel, M. (2015).



3.

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



4.

en análisis computacionales y datos en tiempo real, alimentos 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]

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 centrada a su estructura es una combinación de estos dos sistemas y requirió

un acercamiento paramétrico. Karamba², un programa de análisis de estructura desarrollado por Clemens Preisinger en colaboración con Bollinger-Grohmann-Schneider ZT Wien, fue 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 Octopus³. 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

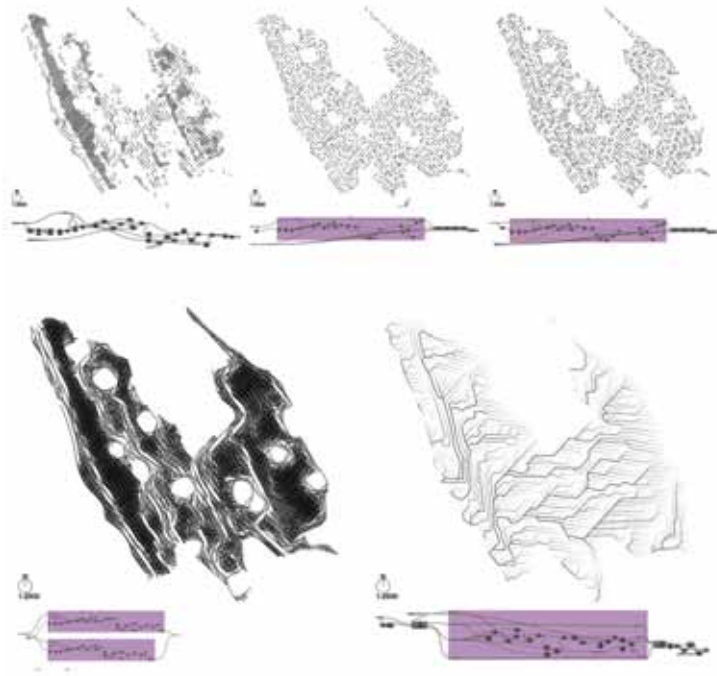
del proyecto se incorpora en este flujo, mientras distribuye programas y actividades públicas a lo largo de su ruta ascendente. Las actividades se encuentran correlacionadas con aquellas de los alrededores y con la estrategia de envolvente múltiple del esquema. El modelo asociativo integrado sirve para asegurar que el espacio interior abierto y sin subdivisiones esté generando los servicios adecuados para el público y las actividades colectivas a las 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.

² <http://www.karamba3d.com/>

³ <http://www.food4rhino.com/project/octopusE?ufh>



5.



6.



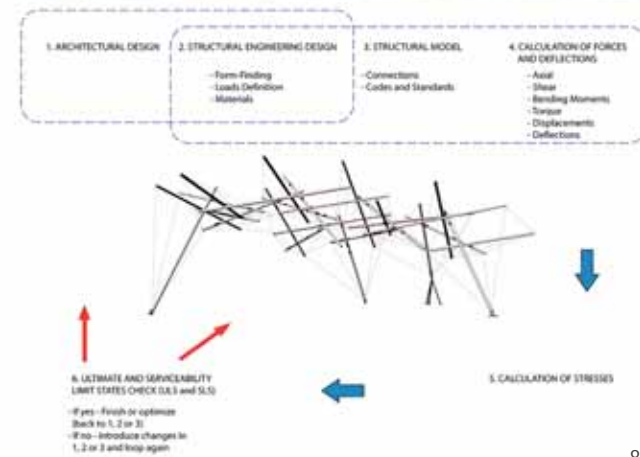
Figura 5. Sistema de diseño para edificaciones de baja altura y de alta densidad. Oslo, Noruega. /Fuente: Hensel, M. (2015).

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

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

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

7.



8.

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. Un ejemplo de lo anterior es el proceso de diseño para un *tensegrity* 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.

MÁQUINAS FANTÁSTICAS

Daniel Cardoso Llach
Carnegie Mellon University
www.dcardo.com
dcardoso@cmu.edu

Muchas de las preguntas que investigo surgieron de una conversación, que tuve en mi infancia, en la que un viejo amigo argumentó que el arte perfecto sólo sería posible cuando una máquina fuese capaz de convertir ideas directamente en objetos sin necesidad de trabajo, materiales o herramientas. Sin pinceles, lienzos o pigmentos que contaminaran el “flujo creativo”, esta máquina fantástica haría posible una transferencia continua entre el mundo inmaterial de la mente y el mundo obstinado de los materiales y objetos físicos. Intuitivamente sabía que mi amigo olvidaba algo crucial, pero en ese momento no supe articular qué. La simplicidad y certeza de su visión me desconcertaron, y la conversación me dejó una pregunta que ha vuelto a surgir en mi trabajo como educador y académico en arquitectura, diseño y computación, convirtiéndose en un modo continuo de indagación sobre el proceso creativo, su representación en los discursos tecnológicos y sobre nuestros encuentros colectivos con la tecnología en la imaginación y construcción del mundo.

Al terminar un ciclo de diez años de investigación y práctica de la computación y el diseño he aprendido que a la visión de mi amigo y al panorama tecnológico actual subyace el mismo deseo de acortar la distancia entre lo que entendemos como la esfera mental y pura de las ideas y lo que entendemos

como el mundo fluido y obediente de los materiales. Reflejando una larga tradición de pensamiento occidental que privilegia las ideas sobre la materia, esta perspectiva dualista aborda la tecnología en el diseño como un instrumento para la materialización constante de ideas en objetos. Esta idea —condensada en forma casi siniestra en la máquina de la que habló mi amigo— está tan arraigada que es un lente a través del cual observamos las prácticas de diseño social, histórica y conceptualmente en términos *tecnológicos*.

Adicionalmente, al estructurar nuestra mirada sobre la arquitectura, el diseño de producto, las ingenierías y el urbanismo, esta *imaginación tecnológica* del diseño le da forma a la labor intelectual de aquellos que trabajamos en esos campos, así como a las disciplinas mismas —asociándolas a un proceso inexorable de cambio tecnológico, el cual, además, alimenta las expectativas del público sobre la producción de nuestro entorno construido—. Esta imaginación tecnológica del diseñar se fundamenta en suposiciones que son problemáticas y que mi trabajo procura confrontar.

Poblados de máquinas fantásticas, los discursos dominantes sobre el diseño circunscriben las prácticas creativas a aquellas que tienen lugar dentro de una tecnología —ya sea esta una deposición numérica de materiales, o flujos de trabajo

robóticos, o interfaces virtuales de modelado—, la cual se presenta como una forma de reducir el tiempo, esfuerzo y habilidades necesarias para su uso. Pero estos tiempos, esfuerzos y habilidades no desaparecen, sino que son en realidad transferidos a una nueva economía *infraestructural* de diseño, producción y mantenimiento tecnológico, cuyos actores y políticas es importante discernir. Los vínculos de estas infraestructuras con nuevas formas de organización social y con nuevas concepciones de creatividad y trabajo son claves para entender el diseño como idea y también como práctica en tanto se fracciona, se agrupa, se promociona, se distribuye —y se consume— hoy.

Por ejemplo, un video de YouTube que anuncia una nueva impresora 3D presenta arquitectos, diseñadores industriales e ingenieros manipulando los objetos que imprimieron en la máquina con sus propias manos y los modelos digitales en las pantallas de sus computadores, mientras una voz en *off* promete “la libertad en los procesos de creación”¹. Esto, por supuesto, es impreciso. Lo que la máquina ofrece no es la libertad absoluta, sino la libertad para crear *exactamente* lo que las múltiples limitaciones geométricas, materiales y computacionales del sistema permiten. Esto es, claro, un subconjunto

¹ Stratasy, “About the Mojo Desktop 3D Printer”.

increíblemente pequeño de objetos. Y para terminar de matizar esta “libertad sin límites”, el comercial presupone habilidades y destrezas tecnológicas significativas que están lejos de ser universales.

Mi trabajo pretende explorar críticamente los orígenes e implicaciones de estas máquinas y las fantasías que alimentan: los procesos históricos y culturales que convierten a la computación en un proceso facilitador de transacciones continuas, etéreas y fluidas entre el mundo de las ideas y el de los materiales. Mi argumento principal es que el concebir tecnologías bien como agentes autónomos o bien como herramientas neutras para la producción del diseño limita nuestra imaginación y nuestra habilidad de involucrarnos crítica, profesional y creativamente con las prácticas que le dan forma a los entornos construidos.

Revelar esta complejidad es crucial para darle forma a la investigación y pedagogía del diseño computacional, y también para que un público educado se empape del rol de la tecnología en la producción de nuestras ciudades, interfaces, servicios y productos. Mi libro *Builders of the Vision* ofrece una mirada nueva sobre esa complejidad, mediante una serie de viajes a través de la historia y la práctica contemporánea de la computación en el diseño.

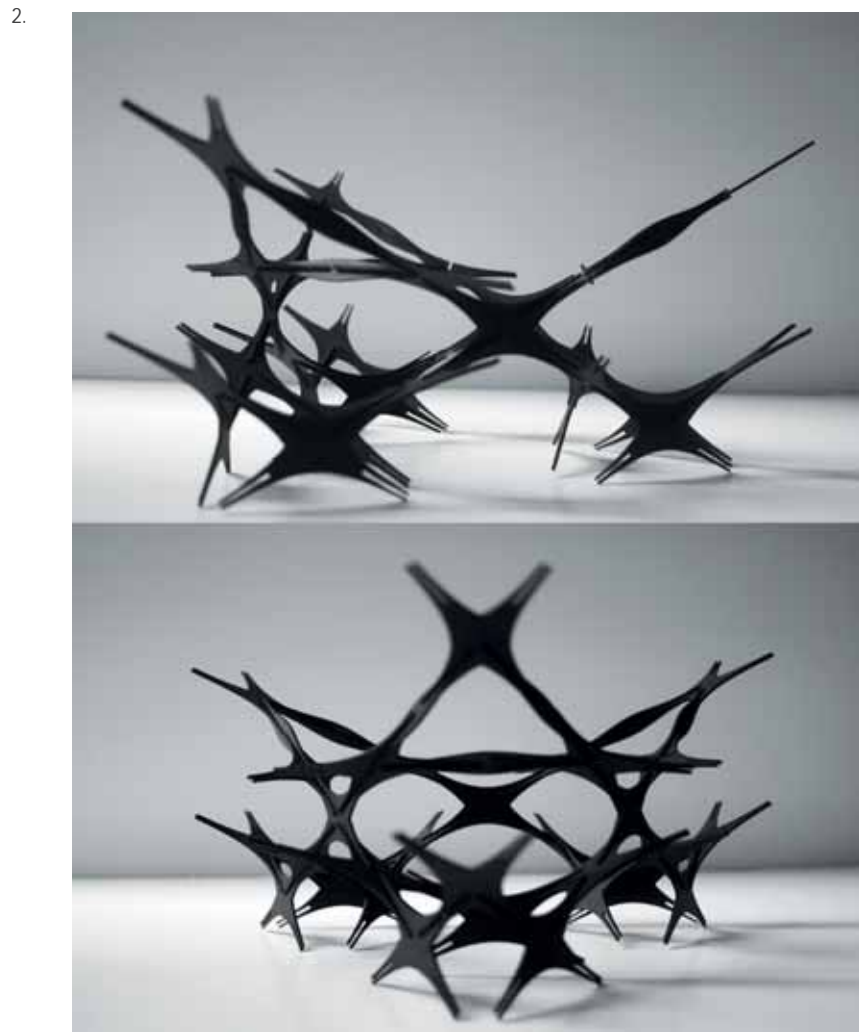
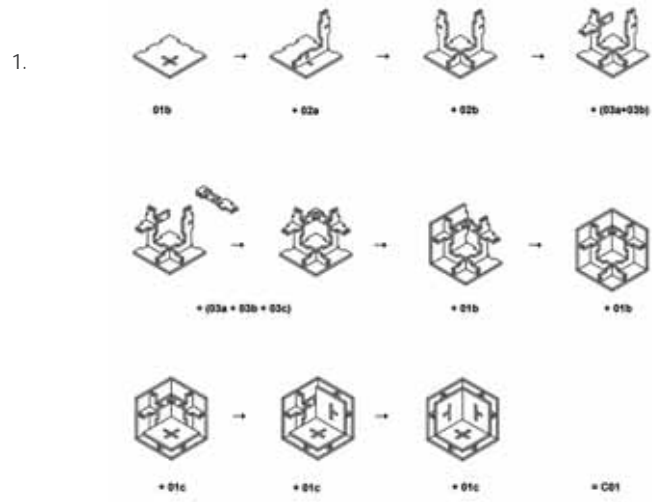
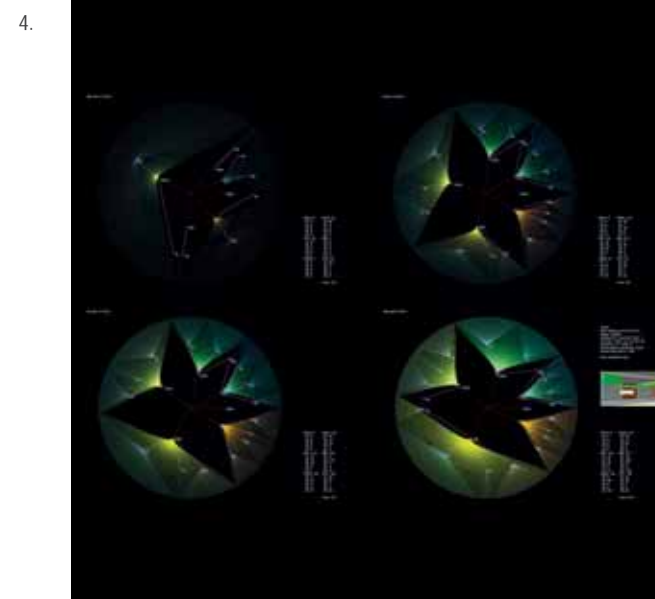
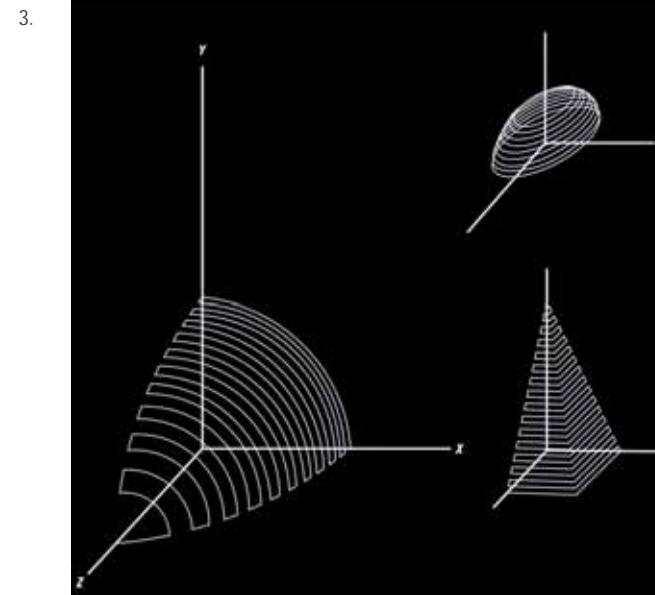


Figura 1. Componentes de ensamblaje fabricados digitalmente para una esquina. / Fuente: Cardoso, D. (2016).]

Figura 2. Escultura generativa. / Fuente: Cardoso, D. (2008).]

Figura 3. Ejemplos de diseño computacional tridimensional. / Fuente: Cardoso, D. (2016).

Figura 4. Ejemplos de visualización de data. / Fuente: Cardoso, D. (2016).



Representa un esfuerzo para evadir las miradas inflexibles, así como las ingenuas, y para abrir un espacio donde quepa una imaginación crítica de la tecnología en el diseño y la creatividad.

► METÁFORAS
INUSUALES: ESPEJOS,
ANDAMIOS Y ESCLAVOS

Al descubrir los nuevos problemas que surgen del diseño y fabricación digital, en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) me interesé en cómo las historias sobre la tecnología moldean concepciones sobre el diseño. En particular me atrajo una metáfora, que circula ampliamente, donde el rol de la computación se asimila a un andamio para el trabajo creativo. Con algunas variaciones, esta metáfora es usada recurrentemente para describir cómo al usar un software un arquitecto, un diseñador o un artista pueden enfocarse en ser creativos, mientras que el software se ocupa de las partes aburridas —tales como análisis estructurales, cálculo de cantidades materiales y logística—.

Esta idea ya nos es familiar. Evoca tanto la máquina fantástica de mi amigo como la distinción entre el trabajo del arquitecto y el del constructor que hizo el arquitecto renacentista Leon Battista Alberti, sobre la cual se erigen los discursos de identidad de los arquitectos desde el siglo dieciséis. En lugar del “artesano diestro”, del que habló Alberti hace quinientos años, programas de computador se hacen cargo de lo material, lo mecánico y lo analítico. Así, a pesar de acarrear supuestos altamente estructurados sobre materiales, geometría y los

usuarios mismos, las interfaces tridimensionales del software de modelado son máquinas fantásticas que, como espejos, reflejan la mente de aquel que diseña; un “andamio” para la creatividad; una infraestructura temporal *externa* afuera de la esfera del diseño. Una consecuencia de esta idea es que los materiales, y aquellos que los manipulan, se ubican en un plano inferior —espectadores pasivos de los deseos del diseñador—.

Educado como arquitecto profesional en una tradición modernista comprometida —aunque más que todo retóricamente— con un respeto hacia los materiales, la noción de que los diseñadores serían más creativos si sólo confrontaran los aspectos visuales del diseño me incomodó. Lo leí como un llamado condescendiente a los arquitectos para permanecer involucrados superficialmente apenas al nivel de la interfaz. [\[Ver figura 1\]](#)

En un principio busqué complicar este punto de vista rechazando, por un lado, lo que me parecían conjeturas positivistas sobre la escisión entre mente y cuerpo y, por otro, la noción de diseño como un proceso de exteriorización de imágenes mentales en representaciones físicas. Así empecé a experimentar con las posibilidades formales de lenguajes abiertos usando ensamblajes de componentes fabricados digitalmente (figura 1). Construía sobre el trabajo de uno de mis mentores en MIT, George Stiny, cuya teoría gramatical del diseño como una derivación de diseños abiertos o “no-concluyentes”, producidos mediante operaciones algebraicas sobre vocabularios formales,

parecía desafiar la alternativa cartesiana (véase Stiny, 2006). En línea con una tradición intelectual pragmática que entiende el aprendizaje (y la cognición) como dos prácticas irreduciblemente corpóreas, George teoriza el diseño como un ciclo abierto de percepción y acción (“seeing and doing” en inglés o “ver y hacer”) de tal manera que una gramática y sus reglas siempre dependen de cambios perceptuales —una jugada teórica que, entre otras cosas, elimina la distancia conceptual entre quien diseña y quien observa—. Buscando reflejar esta sensibilidad, mi trabajo de esta época se concentró en crear y explorar “gramáticas generativas” tanto de objetos computacionales como materiales —álgebras físicas y kits de construcción abierta que buscaban cuestionar la frontera entre el diseñar y el hacer [\[Ver figura 2\]](#).

La otra arista de mi trabajo crítico en diseño computacional sigue una trayectoria cultural e histórica. Una transcripción de una charla sobre control numérico dictada en 1966 por Steven A. Coons —un matemático autodidacta, diseñador y profesor de ingeniería mecánica en MIT— me llevó a explorar en esta dirección. En su charla, Coons describió los computadores (los primeros computadores) como “esclavos perfectos” con la capacidad de darle a artistas y arquitectos la libertad de ser creativos al ocuparse de las arduas labores físicas y mecánicas (véase Coons, 1996). Esa imagen evocadora me inquietó y abrió una línea de investigación que se desarrolló como disertación doctoral en el año 2012 y que desde entonces se adaptó y expandió en mi libro *Builders of the Vision*.

¿Quiénes eran estos ingenieros, matemáticos y arquitectos que humanizaron los computadores primero como “esclavos” del diseñador y después como sus “socios creativos”? ¿Por qué los arquitectos y otros diseñadores no los conocían? ¿Cuál era el contexto institucional en el que operaban? ¿Cómo concibieron el diseño y la creatividad? ¿Cómo se revelan estas ideas en las tecnologías que crearon? ¿Hasta qué punto estos discursos subyacen nuestro panorama contemporáneo de las tecnologías del diseño con sus promesas de acortar la distancia entre el diseño y la construcción, de democratizar el diseño, de “liberar” la creatividad?

Buscando responder estas preguntas, una parte importante de mi trabajo se concentra en investigar la arqueología intelectual de los sistemas del diseño asistido por computador (CAD, por sus siglas en inglés). Lo que he encontrado es que los ingenieros, matemáticos e ingenieros que desarrollaron los primeros sistemas de CAD, y preponderantemente Coons, no eran “sólo” técnicos tratando de resolver problemas preexistentes, sino teóricos ambiciosos que reconfiguraron el diseño como computación. Lo importante acá es que esta epistemología novata del diseño como computación —del diseño como una práctica humano-máquina— es inseparable de una cultura de desarrollo tecnológico que evolucionó en un contexto político y cultural muy particular, alrededor de los contratos de las fuerzas aéreas de Estados Unidos en MIT durante los años de la Guerra Fría. El desarrollo del CAD, y por lo tanto el origen de la forma moderna de las

prácticas arquitectónicas, surgió de un esfuerzo gubernamental estadounidense para fortalecer sus ejércitos y sus industrias a través de la computación (figura 3). Así, los investigadores de CAD de los años cincuenta y sesenta fueron los primeros en reflexionar sistemáticamente sobre cuestiones sobre la creatividad y la interacción humano-máquina en el diseño. Es posible también verlos como intelectuales comprometidos con una cierta visión —con un proyecto de transformación de la comprensión de su sociedad sobre la manufactura de productos y sobre el significado de las palabras “diseño” y “creatividad”—. [Ver figura 3]

Mi trabajo postula esta *imaginación tecnológica* del diseño de dos maneras: como un rasgo histórico-cultural y como una hipótesis que se puede verificar en el campo de la práctica arquitectónica contemporánea. En otras palabras, la reconfiguración discursiva del diseño como computación de la que hablo puede ser explorada sociotécnicamente en el campo de la práctica y no sólo en los archivos históricos. En la oficina de Gehry Technologies ubicada en Oriente Medio, donde estuve once meses como miembro del equipo de consultores y como investigador, fui partícipe de las alegrías y dificultades de la práctica cotidiana de la computación en el diseño y construcción. La tremenda complejidad geométrica y organizacional de estos proyectos nos hace fácil cuestionar las fantasías de materialización continua y fluida, anticipada por los visionarios y promotores CAD —y por la máquina de mi amigo—. Mis observaciones de las interacciones de este

entrelazamiento sociodigital revelan el software como una *infraestructura* (ya no una herramienta) para la producción del diseño y como un proyecto ambicioso (e incompleto) que busca la realización de las visiones de los investigadores de CAD en los años 60 [Ver figura 4].

Como escribió David Noble, “la tecnología raramente satisface las fantasías de sus creadores. Así como las personas pueden fallar, también las máquinas lo hacen, independientemente de cuán perfectos, completos y automáticos sean sus diseños”². Sin embargo, hasta las tecnologías fallidas nos ofrecen un retrato de los deseos y preguntas de sus creadores al momento de su invención. Al tiempo que nuestra cultura tecnológica se empeña en construir la máquina fantástica de mi amigo de infancia, y en esconder los esfuerzos que la hacen posible, lo que verdaderamente importa no es si los resultados son los esperados (nunca lo son), sino aquello que los pasos que se dieron para alcanzarlos nos enseñan acerca de nuestras propias ideas sobre imaginar, construir y habitar el mundo.

Lo que me ocupa en últimas es reclamar las tecnologías en el diseño como espacios de *posibilidad*. A través de mis distintas prácticas como investigador, educador y explorador de la arquitectura, el diseño y la computación busco responder a la pregunta sobre cómo se pueden desmontar las imágenes dominantes de la tecnología

² “[...] technology rarely fulfils the fantasies of their creators. As people are fallible, so too are their machines, however perfect, complete, and automatic the designs” (Noble, 1986, p. 325).

en el diseño como dispositivos disciplinares o como bienes consumibles. En lugar de estas imágenes busco especificar las tecnologías como catalizadoras de exploraciones críticas, imaginativas y abiertas. ¿Cómo desmilitarizar la creatividad? ¿Cómo imaginar nuestros encuentros con el software y las máquinas como especulativos, desobedientes y porosos, en vez de deterministas, autoritarios y monolíticos? Es decir, ¿cómo convertir el panóptico en red?



► REFERENCIAS

- » Cardoso, L. D. (2007). *A Generative Grammar for 2D Manufacturing of 3D Objects* (Tesis de maestría). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- » Cardoso, L. D. (2008). Melnikov Press Fit Kit. Disponible en http://dcardo.com/projects/melnikov/melnikov_pfk.html
- » Coons, Steven Anson. (1996). Computer, Art & Architecture. *Art Education* 19(5), pp. 9–11. doi:10.2307/3190804.
- » Noble, D. F. (1986). *Forces of Production: A Social History of Industrial Automation*. Oxford: Oxford University Press.
- » Stiny, G. (2006). *Shape: Talking about Seeing and Doing*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- » Stiny, G. y Gips, J. (1978). *Algorithmic Aesthetics: Computer Models for Criticism and Design in the Arts*. University of California Press

Daniel Cardoso Llach es Arquitecto, académico e investigador interesado en temas de automatización del diseño, en la creatividad interdisciplinaria, en la interacción humano-máquina y en la cultura tecnológica de arquitectura y diseño. Enseña arquitectura en School of Architecture at Carnegie Mellon University, donde obtuvo el primer lugar en su Máster de ciencia en Diseño Computacional. En la actualidad co-dirige el laboratorio de CoDe Lab.

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
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), posibilitó 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)

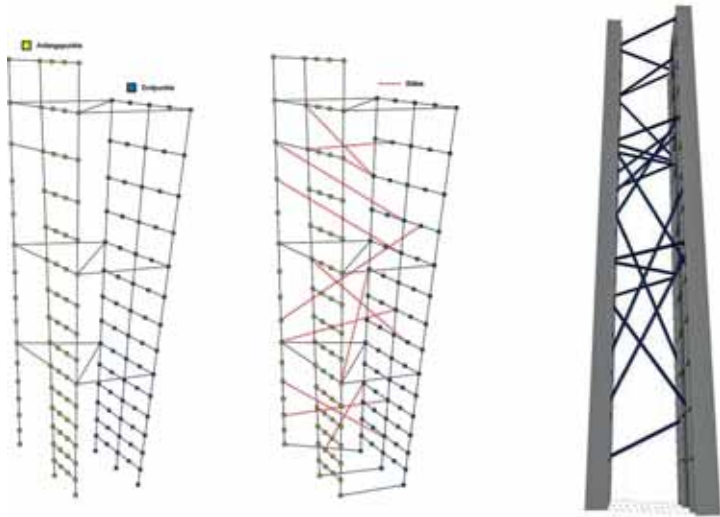
Las geometrías paramétricas o generadas a través de códigos de programación son un producto reciente en el diseño arquitectónico, y las aplicaciones de FE

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

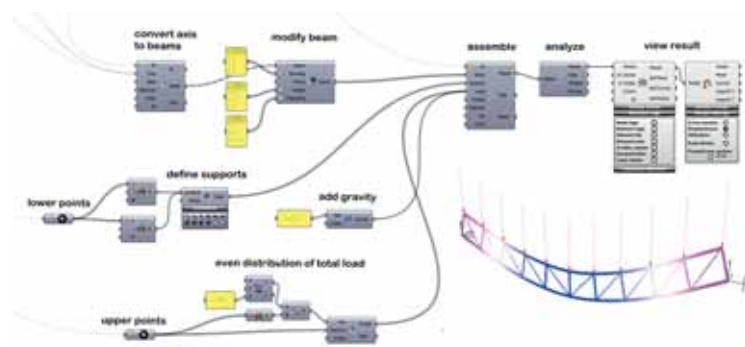
programación orientada a objetos —un concepto de codificación relativamente reciente, ya soportado por la mayoría de los lenguajes de programación— no pueden ser plenamente aprovechadas cuando se vincula a antiguas API basadas en procedimientos. Esto resulta en un gasto computacional adicional y, por 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.

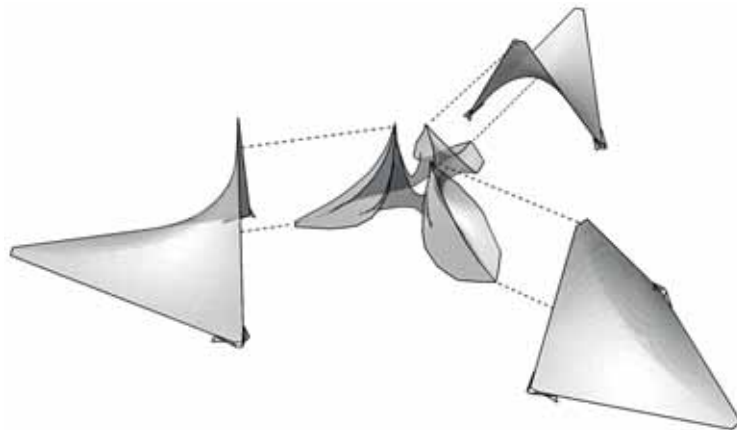
1.



2.



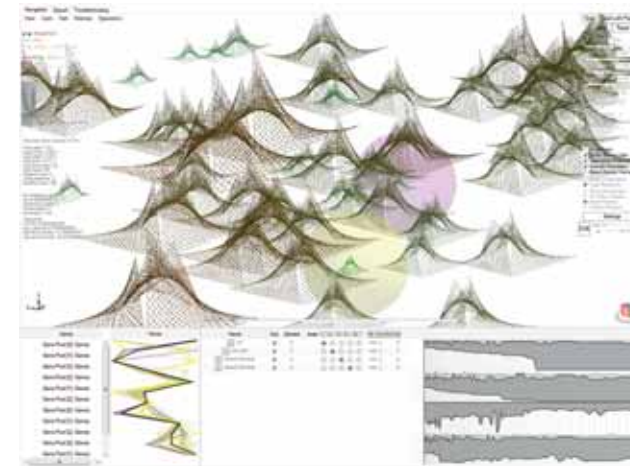
3.



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 Bienal Internacional 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
- » 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.

Hay tres
autores del txt
Solamente una
reseña-

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 TU 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.

SIMULACIÓN DE LA EXPERIENCIA DEL USUARIO:

OPTIMIZACIÓN DE DISEÑO PARA EL CONFORT DE LOS VISITANTES

Shrikant Sharma, Buro Happold
Smart Space
<http://www.burohappold.com/what-we-do/specialisms/smart-space/>
Shrikant.Sharma@BuroHappold.com

Las tecnologías de análisis computacional y modelado de información de construcción (BIM, por sus siglas en inglés) ayudan no solo a predecir el comportamiento del edificio en términos estructurales o de eficiencia energética, sino que también permiten generar prototipos virtuales de estos edificios antes de ser construidos. Esto permite abordar problemas de coordinación entre el diseño y la construcción, reduciendo significativamente costos en diseño, materiales y construcción.

Lo que aún es un desafío es la digitalización del funcionamiento del edificio o predecir y optimizar su desempeño desde la perspectiva de *experiencia del usuario*. Esto resulta limitante, dado que el éxito o fracaso de los edificios depende ampliamente de su eficiencia operacional y del confort para sus ocupantes y visitantes.

¿Cómo modelar el confort de los visitantes y la experiencia del usuario? El confort de los visitantes parece una medida subjetiva; sin embargo, éste puede ser expresado en términos de simples parámetros que definen los niveles de confort, seguridad y bienestar general según la experiencia de los visitantes. Por ejemplo, dentro de un edificio,

un aeropuerto (Osborne, 1978) o como peatón (Fruin, 1971).

Parámetros como tiempos de recorrido —en terminales aéreas y terrestres—, tiempos de espera —en un hospital— y densidad de congestión —en estadios deportivos— forman parte del confort del visitante y de la seguridad de movimiento. Otros parámetros similares de confort pueden ser: el confort térmico (Givoni, 1992) y de vientos.

► MODELANDO EL MOVIMIENTO DEL VISITANTE

Modelar el movimiento de los visitantes implica simular el comportamiento humano, el cual puede variar dependiendo del diseño espacial, contexto, entorno e interacción con otros usuarios. Múltiples investigaciones y emprendimientos se dirigen hacia esta dirección en el mundo académico y comercial, hacia el modelado, la visualización y evaluación del impacto de los diseños de espacios en la seguridad y confort de sus visitantes. Las simulaciones están basadas en agentes y representan los movimientos de las personas a través del uso de comportamientos microscópicos de los individuos y grupos de agentes como si éstos se moverían realmente por los espacios.

Estos agentes están siendo utilizados para probar la efectividad de los diseños espaciales (Helbing, 2005).

Los softwares de simulación de multitudes tales como SMART Move (Sharma, 2007) usan modelos predictivos de comportamiento de multitudes bajo una variedad de ambientes y escenarios, y sus interacciones con la geometría del edificio, señalización, procesos y eventos. Con esto, se pueden simular interacciones complejas de cientos de miles de personas en escenarios como las circulaciones del día a día, llegadas y salidas de masas y evacuaciones de emergencia.

El equipo de trabajo de SMART Solutions, en Buro Happold Engineers Ltd. ha estado estudiando las maneras de hacer que el modelado de multitudes sea accesible, escalable, rápido y fácil de usar. Su enfoque es utilizar un modelo de fuerza social (Helbing y Molnár, 1995) que se ha ampliado para la rápida evaluación en tiempo real del diseño del edificio y su planificación operativa.

El rendimiento en tiempo real es alcanzado usando una combinación de representación espacial optimizada, resolución

variable y cambio de tiempo dinámico. Adicionalmente, se hace un gran énfasis en la interacción del usuario en tiempo real, la cual se logra mediante la incorporación de SMART Move en el ambiente BIM tridimensional y el enlace entre el modelo espacial con el modelo BIM. Estas características han llevado a una mejora rápida de comportamiento, al modelar escenarios complejos que se pueden preparar con unos clics y la simulación corre por lo general en pocos minutos. [\[Ver figuras 1 y 2\]](#)

Los análisis rápidos y con interacción en vivo significan para los diseñadores la posibilidad de retocar el diseño rápidamente, permitiendo la toma de decisiones de diseño optimizadas, en un entorno de taller de diseño. Esto es especialmente útil para las primeras etapas de diseño, cuando las decisiones de alto nivel pueden tener un mayor impacto en los costos y el funcionamiento del diseño definitivo.

Los ejemplos que se presentan a continuación ilustran la aplicación del modelado del comportamiento y movimiento de personas en dos proyectos educativos completados recientemente en el Reino Unido.

► FORO DE LA UNIVERSIDAD DE EXETER

Las intenciones de diseño detrás del nuevo foro y edificio de recepción de la Universidad de Exeter eran integrar la variedad de funciones y movimientos entre la entrada y la recepción, los salones flexibles para uso de todos los departamentos de la universidad, un nuevo centro de servicios para estudiantes, la biblioteca reformada y una plaza de comidas.

Esto se logró identificando y mapeando los diferentes movimientos de los estudiantes, funcionarios y visitantes en los espacios de circulación; seguido de simulaciones de flujos conceptuales y detallados para evaluar el comportamiento de las circulaciones en el diseño, incluyendo las escaleras, corredores y entradas. El estudio se enfocó en problemas como la seguridad y el confort de las circulaciones horizontales y verticales, así como en puntos de reunión adyacentes a las salas de conferencia y entradas al auditorio. Los problemas de congestión fueron considerados durante escenarios críticos como la hora del almuerzo o ingreso y salida de conferencias.

El modelado del movimiento de personas aseguró que el confort de los visitantes fuese tomado en cuenta en el desarrollo del diseño del foro, en términos de forma y dimensionamiento de áreas de circulación. [Ver figuras 3 y 4]

► THOMAS DEACON ACADEMY

Es la escuela más grande del programa académico del Gobierno del Reino Unido.

La multipremiada Academia Thomas Deacon es pionera en ambientes de nuevo aprendizaje que apuntan a la reinención del modelo escolar tradicional. Diseñada por Foster + Partners, esta academia de punta de 2200 alumnos reemplaza tres escuelas secundarias existentes.

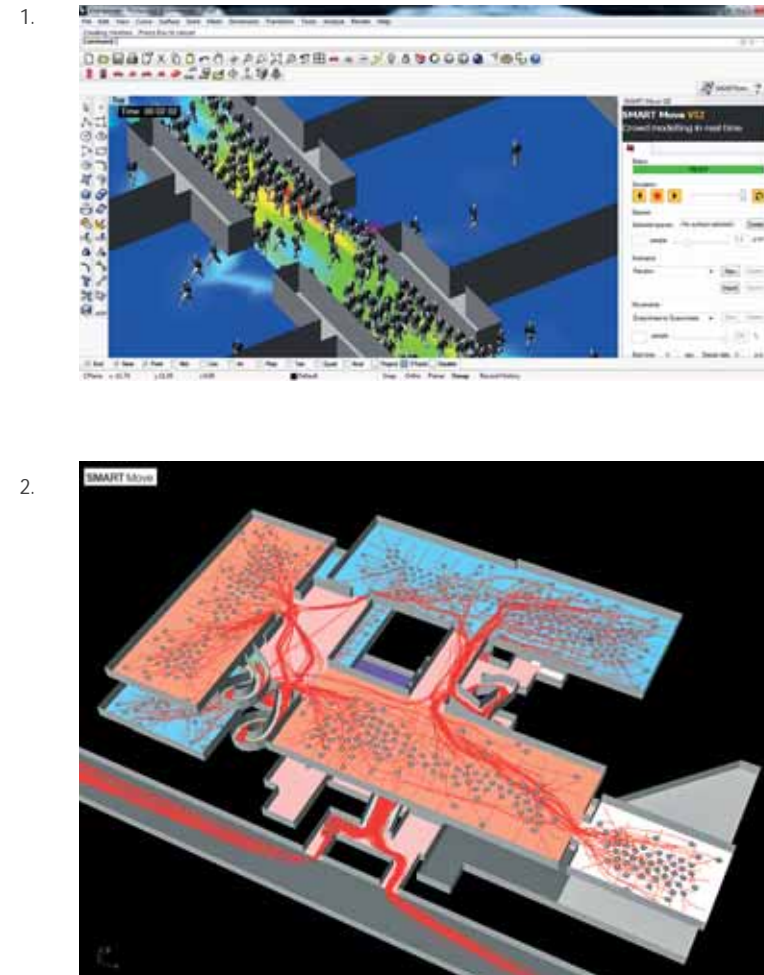
El modelado del movimiento de personas fue fundamental en la optimización del diseño de la circulación de la escuela. La simulación dinámica de flujos de personas fue utilizada para predecir patrones en la circulación de alumnos y personal, además de puntos calientes de congestión en la planta propuesta. Las soluciones planteadas incluyen una combinación de soluciones de diseño, tales como la ubicación estratégica de las escaleras (para lograr su uso optimizado) y soluciones de gestión como la eliminación de la campana escolar (para minimizar la densidad de estudiantes durante el cambio de clases).

Las campanas escolares tienen un gran impacto en la rapidez de la terminación de varias clases, lo que afecta el número de estudiantes circulando en los corredores. Del mismo modo, un diseño centralizado e integrado atrae una mayor afluencia.

La simulación virtual de modelos en SMART Move permite la evaluación cuantitativa de varias opciones de diseño y gestión, y predice la eficiencia de operaciones y el confort de estudiantes en términos de las densidades de los corredores, tiempos para llegar a la siguiente clase, filas en escaleras, tiempos de acceso a casilleros, etc. El ejemplo de la Academia Thomas Deacon muestra

Figura 1. Visualización del programa de modelado de multitudes. SMART Move Viz. / Fuente: Sharma, S. (2016).

Figura 2. Ejemplo de simulación de circulación de multitudes. / Fuente: Sharma, S. (2016).





3.

4.

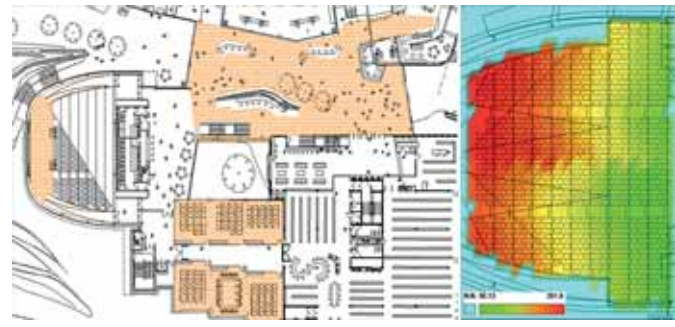


Figura 3. La Academia de Thomas Deacon fue uno de los edificios estudiados a través del software de simulación de multitudes, Reino Unido. / Fuente: Sharma, S. (2016).

Figura 4. Estudio de uno de los espacios de alto tráfico de circulación en la Academia Thomas Deacon, Reino Unido. / Fuente: Sharma, S. (2016).]

5.

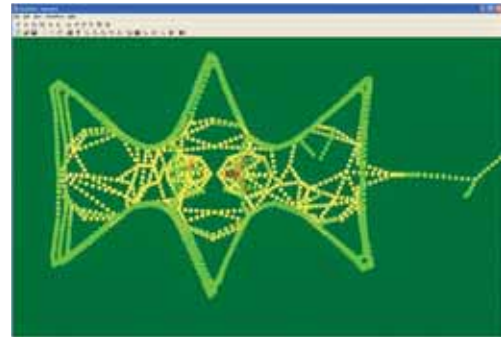


Figura 5. Vista del interior de uno de los espacios de la Academia Thomas Deacon, Reino Unido. / Fuente: Sharma, S. (2016).

Figura 6. Visualización generada por software SMART Move. / Fuente: Sharma, S. (2016).

Figura 7. Comparación entre el comportamiento humano y la simulación de éste con el software. / Fuente: Sharma, S. (2016).]

6.



7.



como el modelado de confort de usuarios y visitantes no solo ayuda a optimizar el diseño de circulación de espacios, sino que también puede integrar y refinar estrategias de gestión en el manejo de circulación para ahorrar significativamente costos de diseño y construcción. [Ver figuras 5 a 7]

► EL FUTURO: MODELADO INTEGRADO AL COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO

Las últimas tecnologías de simulación están ayudando a diseñadores y planificadores a predecir las formas en las que la gente interactúa con sus diseños; también a ver cómo dar forma al proyecto para alcanzar un máximo confort y experiencia.

En la actualidad, la industria está enfocada en la creación de prototipos no solo de los modelos tridimensionales del edificio, sino también de su desempeño integral antes de su puesta en funcionamiento. En la medida en que seamos más capaces de predecir y optimizar el rendimiento del edificio y su eficiencia operativa durante las primeras etapas de diseño, mayor será el ahorro en costos y se asegurará su éxito.¹



► REFERENCIAS

- » Fruin, J. J. (1971). *Pedestrian planning and design*. New York: Metro-politan Association.
- » Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 18(1), 11-23.
- » Helbing, D. (febrero de 2005). Self-organized pedestrian crowd dynamics: Experiments, simulations, and design solutions. *Transportation Science*, 39(1), 1-24.
- » Helbing, D. y Molnár, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physics Review Letters*, E 51, 4282-4286.
- » Osborne, D. J. (1978). Passenger comfort - an overview. *Applied Ergonomics*, 9(3), 131-136.
- » Sharma, S. B. (junio de 2007). A static-dynamic network model for crowd flow simulation. En *6th International Symposium on Space Syntax*, Estambul, Turquía.

¹ Una versión sencilla del software SmartMove, presentado en este artículo, se puede descargar desde www.smart-solutions-network.com

Shrikant Sharma lidera el grupo de "Smart Space" de la empresa de ingeniería BuroHappold el cual ofrece ideas innovativas sobre cómo las personas interactúan con sus entornos, recurriendo a esta para optimizar el diseño, la logística operacional de edificios y espacios urbanos. Su equipo de diseño enfoca los usos del conocimiento en el comportamiento de personas, actividades y rutas para maximizar la utilización del espacio, wayfinding, eficiencia en la circulación, efectividad operacional, reducción de costos, resiliencia y en última instancia la experiencia del visitante.

DISEÑO MEDIOAMBIENTAL PARA EDIFICIOS, COMO PROCESO ITERATIVO

EMPLEANDO HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

Mostapha Sadeghipour Roudsari
 School of Design,
 University of Pennsylvania
 www.grasshopper.com/group/ladybug
 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].

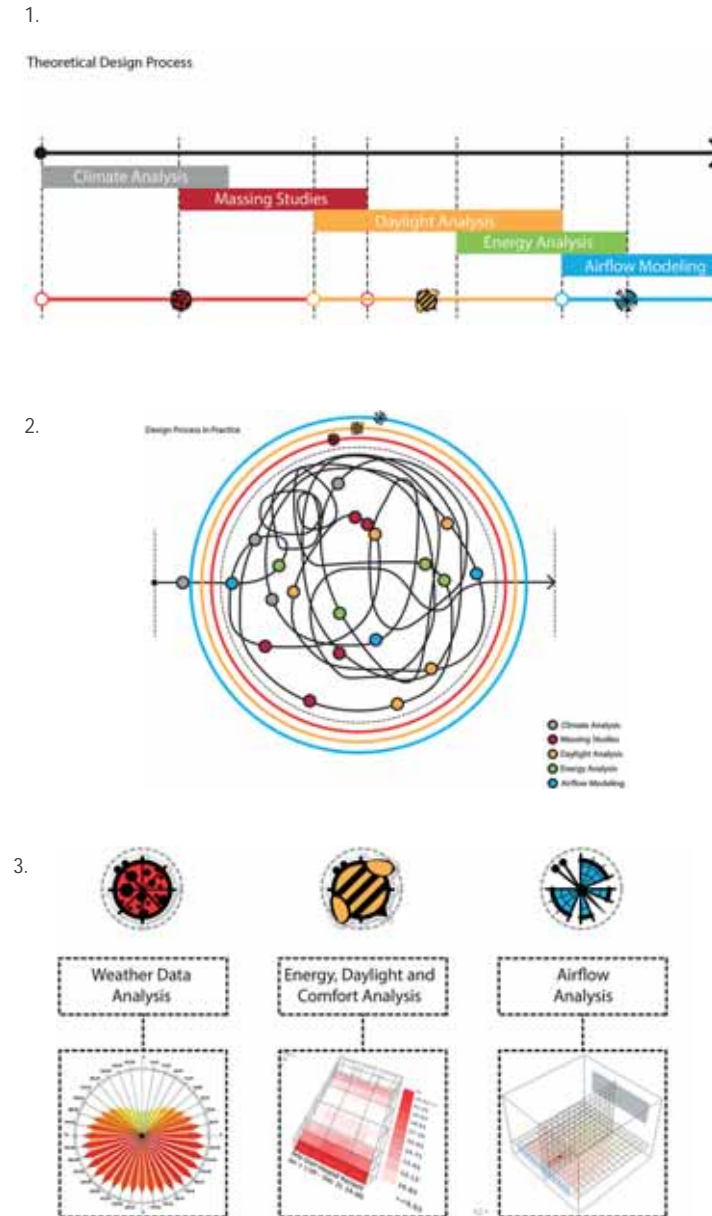
Los *plugins* siguen tres reglas principales: 1) flexibilidad en el flujo y aplicación de trabajo, 2) capacidad de adaptación en diferentes etapas de diseño y 3) soporte automatizado iterativo de flujos de trabajo.

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. El modelo distribuido

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).]



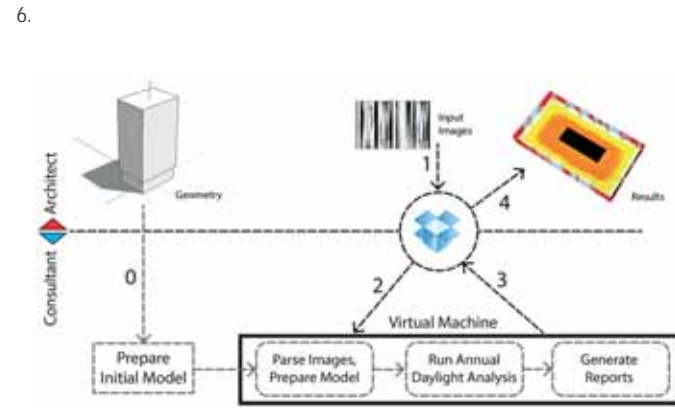
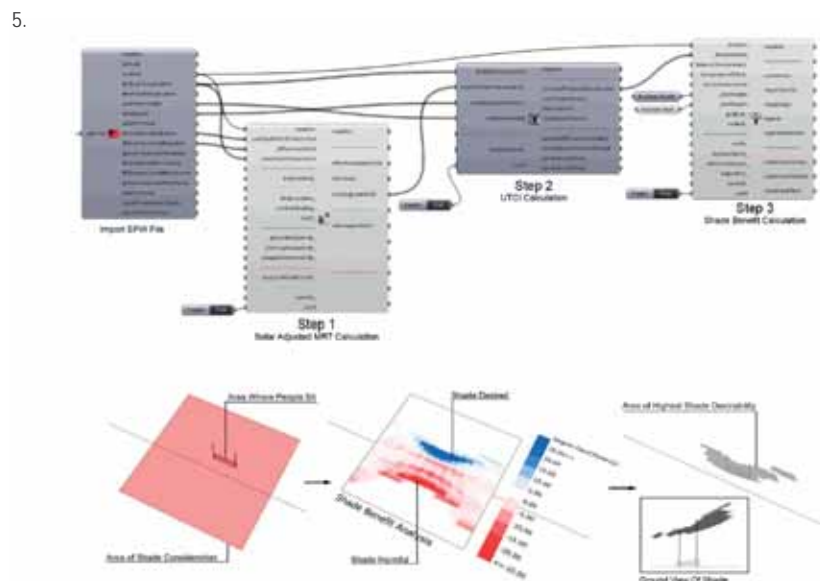
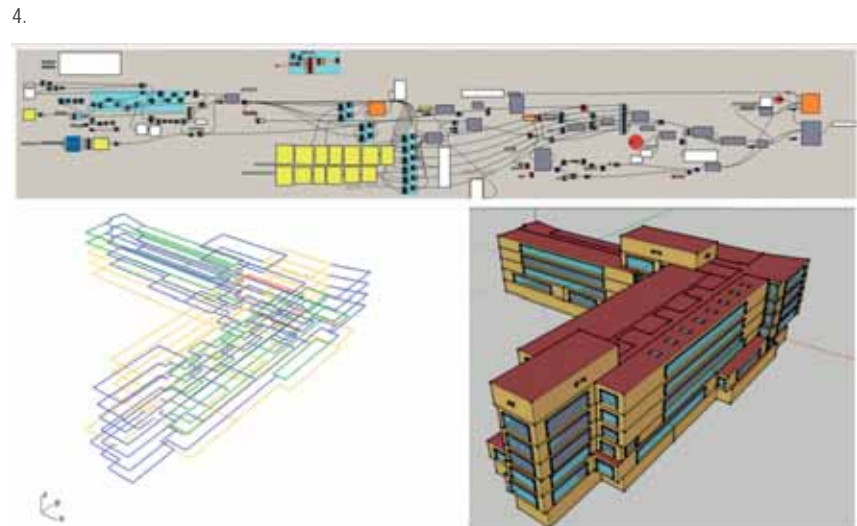


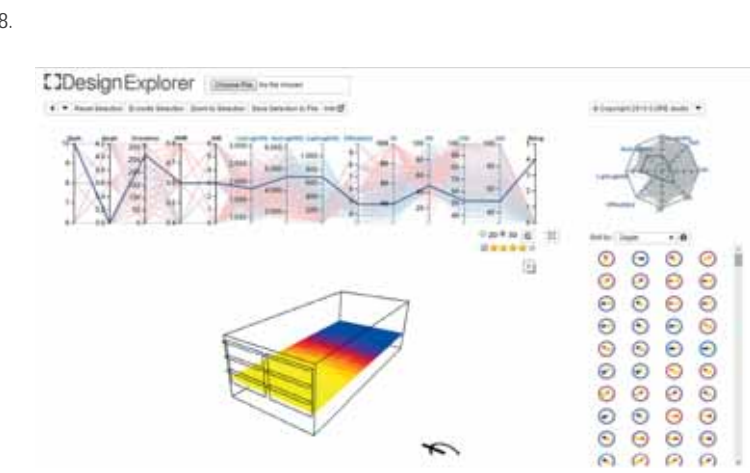
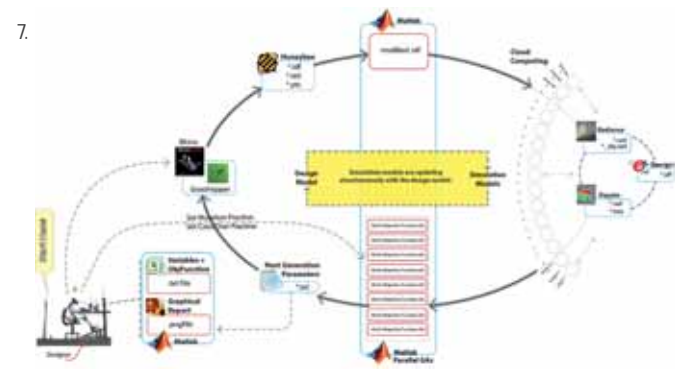
Figura 4. Creando un modelo energético a partir de las plantas arquitectónicas. / Fuente: Sadeghipour. (2015).]

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).]



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 los 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 Tehran, 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.

EL ARTE DE LO PROTOTÍPICO

THEVERYMANY

El trabajo THEVERYMANY, de Marc Fornes, puede describirse como “arquitecturas prototípicas”, en donde “prototípico” —un adjetivo— incluye un conjunto lógico que abarca la muestra (una prueba de un elemento preciso dentro de una unidad), la construcción del prototipo (una unidad o relación entre unidades) y finalmente la maqueta (una configuración de unidades y no armada en su totalidad).

La premisa de cada proyecto está basada en las preocupaciones arquitectónicas definidas con precisión, como la estructura, la envolvente, la porosidad, etc. A través de un proceso de experimentos empíricos y en serie, tanto de geometría descriptiva computacional como de sistemas de materiales, el desarrollo crece desde una escala de una unidad a un sistema de unidades y a un proyecto entero, donde toda su naturaleza está completamente probada a escala 1:1 —incluyendo, tanto más importante, el placer de su experiencia espacial— con un potencial de mayor escalabilidad.

Este artículo describe los parámetros que impulsan las arquitecturas prototípicas de THEVERYMANY, incluyendo las terminologías únicas que han madurado en tándem con el propio proceso de desarrollo.

► PROTOCOLOS EXPLÍCITOS Y CODIFICADOS.

Una de las principales premisas en la obra de THEVERYMANY está relacionada con la especificidad de los procesos: todas las morfologías son el resultado de protocolos explícitos: una serie finita de pasos, instrucciones inequívocas, organizadas jerárquicamente en una secuencia lineal y traducidas a través de la notación más corta posible en un algoritmo operativo.

La creación de un proceso de diseño por la lógica aplicada en pasos jerárquicos no es única en la informática (que puede ser analógica), a menos que su lógica sea codificada para ser interpretada únicamente por computadores. Los protocolos de THEVERYMANY se escriben en forma explícita en un archivo de texto, articulado dentro de una sintaxis computacional (Python), acudiendo a un vocabulario o métodos desde librerías externas (Rhinocommon) y finalmente son ejecutadas dentro del ambiente del software (Rhino 3D).

► PROTOCOLO DE INDETERMINACIÓN PRECISA

Tales protocolos son definidos y conducidos a través de parámetros de control numérico, y por lo tanto son precisos.

Marc Fornes
Director de estudio THEVERYMANY
studio@theverymany.com





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

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



¡No hay tal cosa como un “tal vez” computacional! También y, sobre todo, el protocolo es considerado preciso porque recurre menos al azar: uno quiere ser capaz de correr el mismo código dos veces y obtener el mismo resultado cada vez si se desea implementar o depurar un código específico o un problema geométrico, especialmente en un caso que sea particular o poco común.

Mientras la lógica operacional requiere precisión para ser aplicable, especialmente cuando está involucrada la fabricación, también hay un requerimiento de parte del punto de vista del diseño para dejar campo para un elemento sorpresa con el propósito de exploración e invención. Sin embargo, incluso si el protocolo es la suma de varios pasos muy deterministas (suponiendo que el autor escribió cada línea de código y entiende la lógica del método y sus limitaciones —caja negra—), todavía se requiere a menudo ejecutar el código con el fin de visualizar su resultado. Debido al número de líneas, pasos y condiciones (*if... then...*), es imposible que el autor anticipe el resultado exacto y, por lo tanto, escribir protocolos computacionales de diseño incluye constantemente un factor de indeterminación: a uno le gusta el momento del resultado y, sin embargo, no es obvio a primera vista del autor lo que éste ha provocado —el error feliz—, para ser entendido, controlado, diseñado y finalmente ejecutado.

La cantidad de sorpresa o distorsión entre los resultados anticipados y los reales se podrían definir como “inercia del

protocolo” o “resonancia dentro del sistema” —resultados hasta más altos de los esperados—, pero no deben confundirse con el campo de la teoría de emergencia, la cual requeriría un conjunto mucho más exhaustivo y sofisticado de criterios.

► DE LA BÚSQUEDA DE LA FORMA A LAS MORFOLOGÍAS ESTRUCTURANTES

Basado en una historia de testeos empíricos en serie enfocados en la traducción de las geometrías digitales a los ensambles físicos, el trabajo de THEVERYMANY se vio obligado a hacer frente a diferentes grados de fracasos —desde los fracasos más dramáticos, como el colapso total, a cuestiones logísticas invisibles en detrimento de la posibilidad de escalabilidad—. Dado que en un principio fue exclusivamente empírico, esto enfocó el interés a estructuras de desempeño autoportante, tales como las estructuras laminares súperdelgadas. A nivel de la instalación de baja financiación, la integración de diferentes partes a un sistema es también rentable por su reducción de complejidad (número de elementos, tipos de ensambles, etc.).

► CURVATURA INTENSIVA VS. CURVATURA EXTENSIVA

El desempeño de las estructuras autoportantes súperdelgadas se logra a través de una curvatura extensiva —un principio basado en maximizar la doble curvatura de una superficie o un volumen con el fin de sacar provecho de sus capacidades estructurales—. Sin embargo, la doble curvatura en sí misma no es suficiente. Mientras el trabajo de Frei

Otto demostraba que el modelo estructural de las burbujas de jabón se desempeña mejor que una caja, este modelo tiene relativamente menos desempeño si es escalado al tamaño de un edificio. Asuntos de la escala: lo que es percibido como doble curvatura en una escala arquitectónica puede, por lo general, ser aproximado a una composición de líneas rectas o planos y, por lo tanto, debe ser compensado con el espesor del material o en caso de tensión activa, con mástiles pesados capaces de sostener las fuerzas de tensión como en el estadio de Múnich (1972) de Otto.

La curvatura intensiva tiende a maximizar la doble curvatura en todas partes (extensiva) y limitar el radio máximo de curvatura. Las morfologías basadas en curvaturas intensivas tienden a curvarse en todas las direcciones (con el fin de maximizar la diferenciación de los radios, así como la dirección de la curvatura) y componen elementos de “perfiles cerrados”, como redes gruesas de celosías (o como tener un radio ajustado en una dirección al mínimo, que, por lo tanto, cuenta con un alto desempeño estructuralmente).

► MALLA BASE VS. MALLA BÁSICA

Las morfologías como las que están dentro de la obra de Frei Otto se pueden simular digitalmente a partir de una malla plana “simple” con una serie de anclajes bloqueados en su lugar (vértices, curvas, etc.) y la aplicación de fuerzas. Aunque actúa como una tela elástica abstracta durante el proceso de simulación, esta malla de partida puede existir en forma plana como solapas o

autointersecciones sin problemas topológicos.

THEVERYMANY está basado en un proceso de dos etapas, haciendo énfasis en el desarrollo creativo de la topología de la malla inicial de base, así como en el proceso de relajación en sí. Las mallas son vértices (coordenadas), bordes (relaciones) y caras (representaciones) con direcciones, que pueden potencialmente representar infinitud de tipos de morfologías complejas y no lineales: composiciones de abierto/cerrado, no desarrollable, ramificaciones y recombinaciones, etc. Como tales, no pueden existir de forma plana y requieren, por ejemplo, ser reconstruidas a través de varias operaciones booleanas de adición o diferenciación en el espacio tridimensional.

Las estructuras prototípicas como Labrys Frisae de THEVERYMANY (2011) —una estructura de diez por diez metros, seis metros de altura y construida a partir de láminas de aluminio que son de menos de un milímetro de espesor— pueden, sin embargo, apoyar su propio peso, así como las cargas vivas de varias personas que suban encima. Esta prueba de carga ha sido probada empíricamente con hasta tres personas libremente y de forma simultánea.

► THEVERYMANY

El trabajo de THEVERYMANY ha explorado la producción física de morfologías estructurales mediante el desarrollo de protocolos personalizados de teselación (el desarrollo de una superficie/malla a través de elementos simples, desde triángulos/cuadriláteros a polígonos irregulares).

A través de prototipos físicos en serie de dichos sistemas se demostró que están basados en la singularidad: cada cara (triángulo/cuadrilátero/polígono de n número de aristas) es materializada como un panel, haciendo que el número total de elementos y piezas únicas sea potencialmente infinito. Si bien esta situación puede ser ideal para el diseño de patrones (direccionalidad, intensidades, etc.), puede ser una pesadilla para el montaje físico. La creación de las piezas se convierte, por un lado, más simple porque no están curvas (por lo tanto, no requieren moldes, tallado e impresión); sin embargo, la complejidad surge a través de la logística: convenciones de nombres, producción, chequeos y el riesgo de error y largos periodos de tiempo en el montaje.

► DE LOS MUY NUMEROSOS A LOS MUY POCOS

Para los protocolos que solucionan esos problemas logísticos, el inconveniente se convierte en transformar los *muy numerosos* en los *muy pocos* números de piezas. La dirección inicial de THEVERYMANY fue basada en el principio de recombinación: el teselado de la superficie / malla de acuerdo a los criterios seleccionados (por ejemplo, elementos más pequeños donde la curva está más cerrada), recombinados en conjuntos más grandes —tales como tiras—, en lugar de aceptar la suma de singularidades como sistema de material.

El primer ejemplo —creado para el proyecto de THEVERYMANY n|Strip (2010)— fue basado en una reconfiguración lineal de paneles singulares como cadenas o morfologías rayadas,

donde la suma de partes planas es potencialmente desarrollable (si no existen problemas tales como la autointersección) y, por lo tanto, es convertido en un sistema de material. Esto reduce dramáticamente el número de partes mientras que, como un producto, aumenta dramáticamente el desempeño mediante el aumento de redundancias de conexiones con múltiples vecinos.

► DE LA GEOMETRÍA DESCRIPTIVA A LOS PROTOCOLOS DE BÚSQUEDA

El problema con los sistemas de materiales en franjas lineales, creados a través de la recombinación, es que mientras tales protocolos permitan opciones locales para un comportamiento mejor ajustado dentro de cada franja (de acuerdo con la curvatura, por ejemplo), no hay conocimiento general de la totalidad del sistema.

La introducción a computación paralela y los “sistemas basados en multiagentes”, permite a los agentes —o grupo de reglas encapsuladas— entenderse entre ellos en cada bucle e intercambio de retroalimentación. Esto significa, por ejemplo, recoger semillas en los bordes y ejecutarlos como hormigas sobre la morfología, dejando un rastro. Cuando este camino es demasiado largo, ellas mueren y el camino se convierte en surcos de material.

La invención de esta lectura local describe una malla y define un sistema de material lineal que permite a los no matemáticos/científicos de la computación eludir leyes primitivas de la geometría descriptiva tradicional y reemplazarla con



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).]

HACEN FALTA
PIE DE FOTO

una “numerosa” población de agentes arrastrándose por la morfología. Desde ahí, el autor puede decidir a través de errores de pruebas el mejor camino para el progreso, de acuerdo con la lectura de las condiciones locales.

► CONJUNTOS DE REGLAS COMPETITIVAS Y COMPORTAMIENTOS ESQUIZOFRÉNICOS

Sin embargo, los sistemas descriptivos basados en una búsqueda pueden, a menudo, no depender de un único conjunto de reglas. Debido a la naturaleza y complejidad requerida por morfologías estructurantes basadas en curvaturas intensivas, una regla que resuelva un problema para una condición local a menudo desencadena nuevos problemas en otros lugares.

Este protocolo de descripción requiere un conjunto de reglas para encontrar el mejor grupo de reglas y los parámetros que mejor se ajusten para resolver la cantidad máxima de condiciones en general a través de la toma de decisiones locales. Los comportamientos de las tiras observadas con tales reglas son nerviosos, peleando entre sí, y por lo tanto son referidos como “esquizofrénicos”.

Los protocolos —como los de THEVERYMANY en y/Struc/Surf project (2011) para el Centro Pompidou en París— alimentan sus agentes con los parámetros locales en orden inverso del mejor ajuste; la solución que para la primera prueba no es necesariamente la mejor, sino más bien la más aceptable, induce a una mejor solución en promedio.

► DE LAS MORFOLOGÍAS NO LINEALES A LOS CONJUNTOS DE DESCRIPCIONES LINEALES

Los caminos de dichos agentes, una vez convertidos en geometrías (con atributos como el ancho relativo, espesor, técnicas y otros detalles), pueden ser cortados digitalmente en tiras lineales en una lámina de material. Los criterios de aptitud para la producción son largo y forma. Si es demasiado largo, las tiras no caben en láminas estándar de material o en la cama específica de la máquina.

Si son demasiado rizadas, las tiras no se anidan o apilan para empaquetar; sin embargo, si son demasiado rectas o similares en forma, se hace más difícil diferenciarlas durante el montaje físico. Además, si las tiras son demasiado largas, estas no funcionarían bien en altas diferencias físicas de curvatura, como en las recombinaciones o división de nodos; si es demasiado corto, el proceso está de nuevo en el paso uno (singularidades) con demasiadas partes.

► COLORACIÓN VS COLOR

Los colores son, evidentemente, muy subjetivos, pues se someten a tendencias y modas. La elección de un color, y más aún defenderlo por años, puede costarle al arquitecto. La computación y los protocolos de procedimiento de teselaciones han abierto nuevos paradigmas: a cada parte física se le puede asignar un atributo de un color, y gracias a esto, la suma de las partes puede aproximarse a los gradientes con precisión (en lugar de la borrosidad de las soluciones anteriores con aerógrafo).

La coloración define el arte procesal de la aplicación de múltiples colores a través de conjuntos de partes. Por ejemplo, los gradientes se pueden parametrizar (dependiendo del número de piezas), escalar con amplitud precisa (contrastando una parte con otra), lineal (en la mezcla entre un color y otro), no lineal (con intensidades locales), con dos o más colores, cebras con un color constante o mezclarlo con otros gradientes alternando los módulos con precisión. Las posibilidades son infinitas. El efecto de tales protocolos de coloración puede volverse extremadamente complicado, y por lo tanto menos subjetivo a un prejuicio inicial sobre colores específicos, ya que las lógicas complejas establecidas tienen que ser primero analizadas y comprendidas (en la escala global y local) antes de pensar en ello.

► ARQUITECTURAS PROTOTÍPICAS VS. ARQUITECTURAS

Desde el punto de vista de la investigación, el trabajo de THEVERYMANY se ha centrado en la invención de la descriptiva algorítmica de una malla geométrica a través de franjas planas y su montaje físico de una superficie de doble curvatura sin la necesidad de moldes costosos o andamios temporales. Los resultados son experiencias totalmente inmersivas para visitar, participar, jugar y perderse. A pesar de que estas estructuras son a menudo instalaciones interiores temporales financiadas a través del arte, hay una motivación enfocada a convertirse en permanente, para crecer en escala, cargas vivas, múltiples programas y para diferentes culturas

y contextos. El objetivo es no ser conocidos exclusivamente como arquitecturas prototípicas entre el público experto de un campo especializado, sino más bien operar fundamentalmente como arquitectura.



Marc Fornes es un arquitecto DPLG registrado y fundador de THEVERYMANY™, un estudio de la participación del arte y la Arquitectura, situada en Nueva York, el cual a través de filtros de investigación desarrollo sistemático aplicado en la informática y en fabricación digital. El prototipo de sus estructuras y entornos únicos orgánicos son incluidos en permanentes colecciones del Centro de Pompidou, el Centro FRAC y el CNAP. Su trabajo ha sido exhibido en instituciones de todo el mundo incluyendo Guggenheim (en el vacío) y vendido en el Art Basel Miami/GGG, Art Paris, Phillips de Pury y Sotheby's.

SE VE BIEN EN PAPEL

ESPECULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

Michael Szivos
Director de la oficina SOFTlab,
Nueva York
Szivos.michael@gmail.com

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

HACEN FALTA
PIE DE FOTO



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

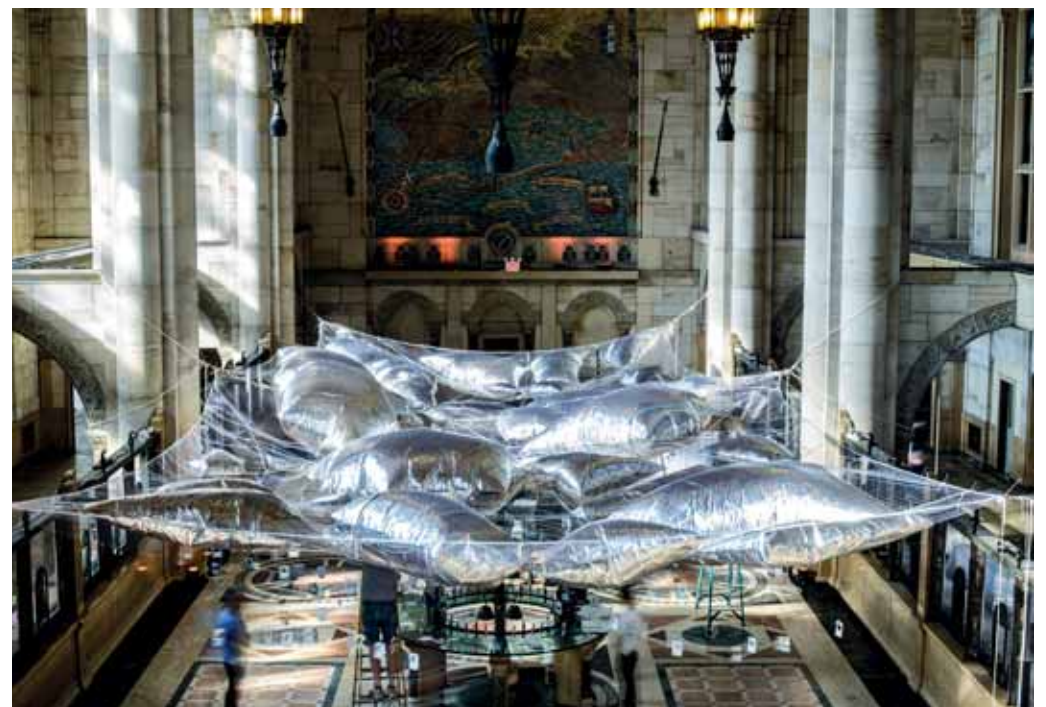
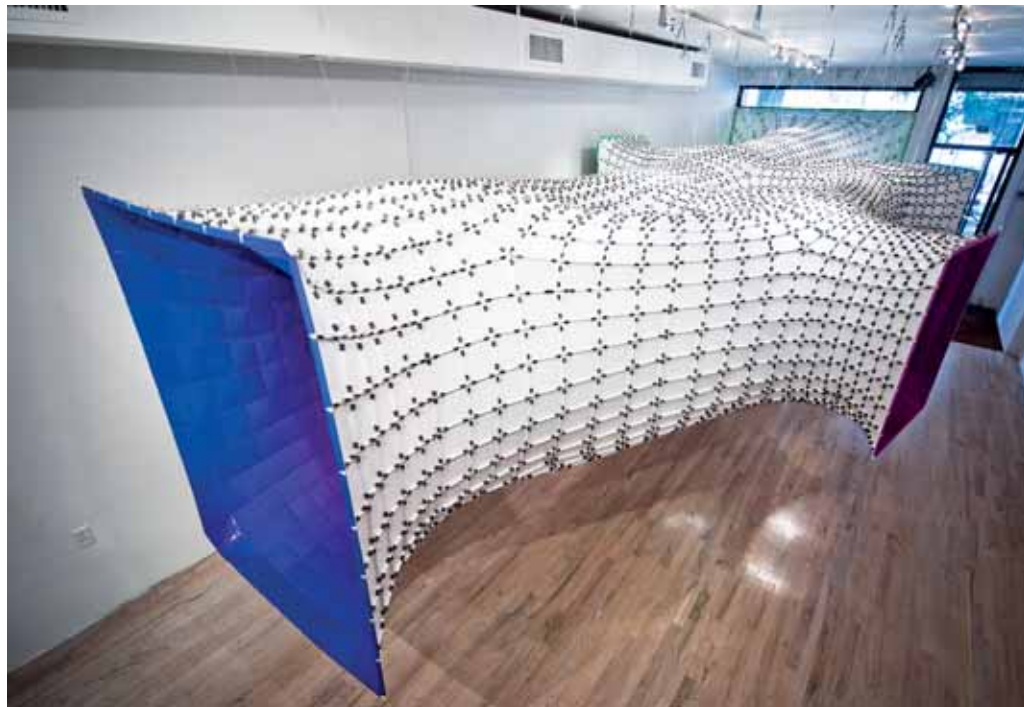
¡Su trabajo es excepcional, pero no es arquitectura!
Robert A. M. Stern

SOFTlab ha pasado de ser un estudio sin conexión entre especulación y construcción a un estudio con trabajo crítico que las 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 ensambles 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,



HACEN FALTA
PIE DE FOTO





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, Delport 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

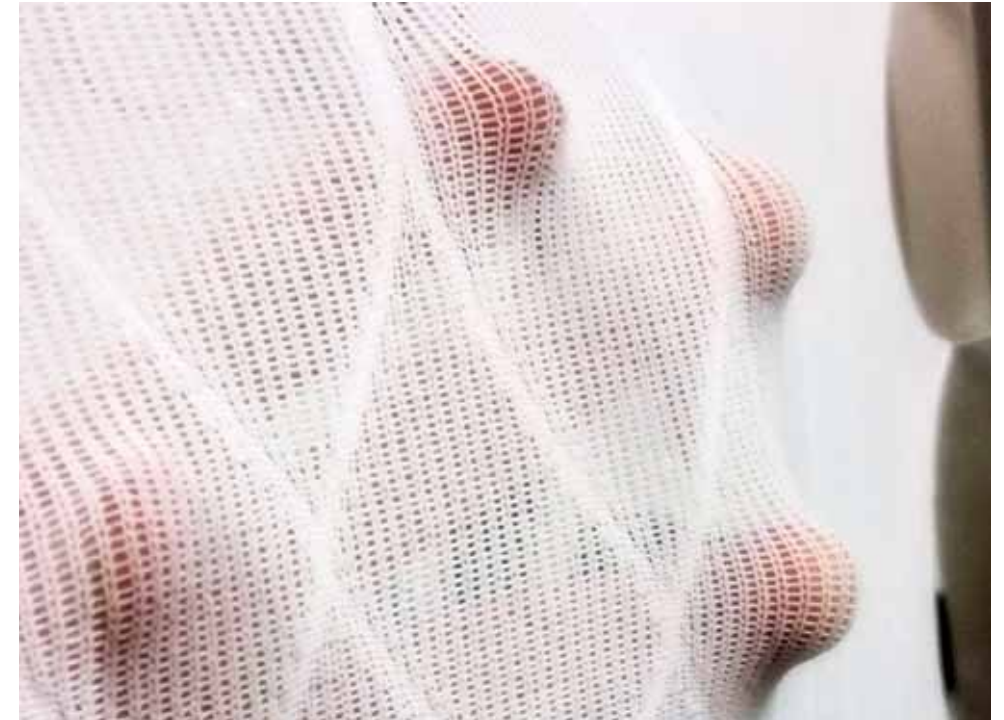


Figura 1. Capacidad de respuesta elástica y estructural en un objeto textil fabricado con Control Numérico por Computadora (CNC). / Fuente: Ahlquist, proyecto *Arquitecturas tejidas*, Universidad de Michigan. (2014).]

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).]

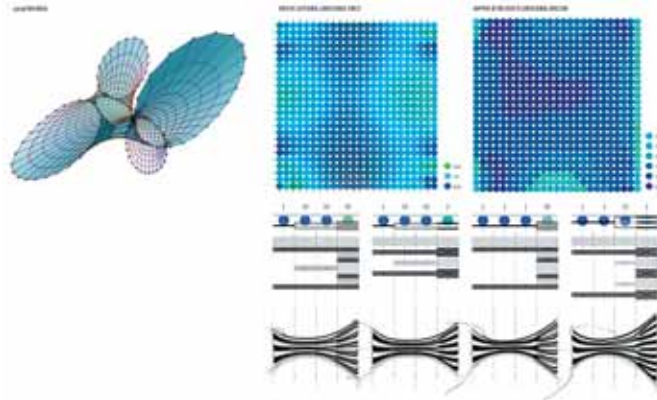
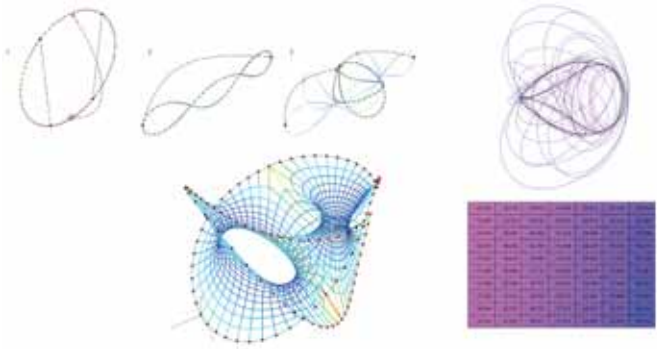


Figure 4. Prototipo parques de juego sensoriales 01. / Fuente: Ahlquist, Sile O'Modhrain, *Superficies sociales-sensoriales*. (2015).]

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).]



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*¹, 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 Mobius² (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

¹ *Inter-looping*: juntas.

² 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. [\[Ver figura 4\]](#)

► 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 GFRP³ permite dotar de una rigidez uniforme

³ GFRP: fibra de vidrio.

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. Perry, (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
faltacorreo@faltacorreo.com

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 Rhinoceos 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

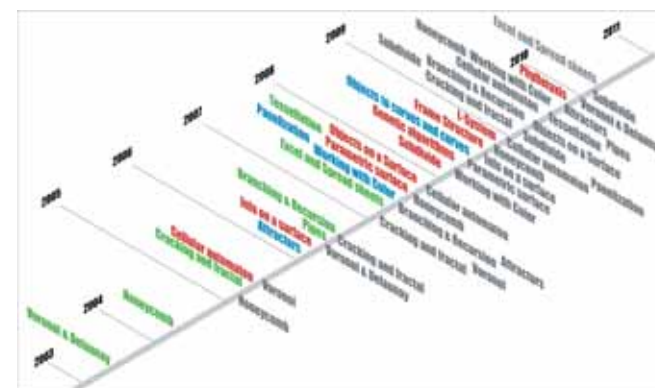
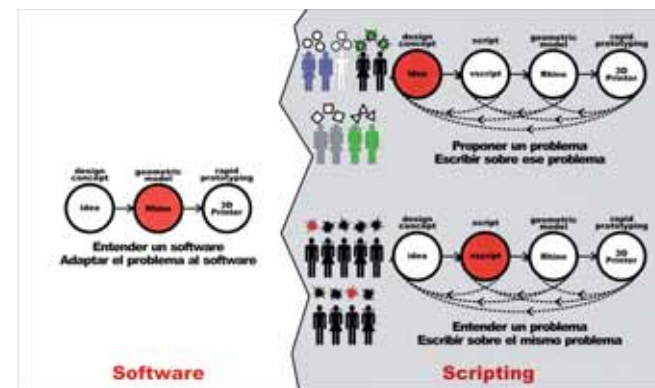
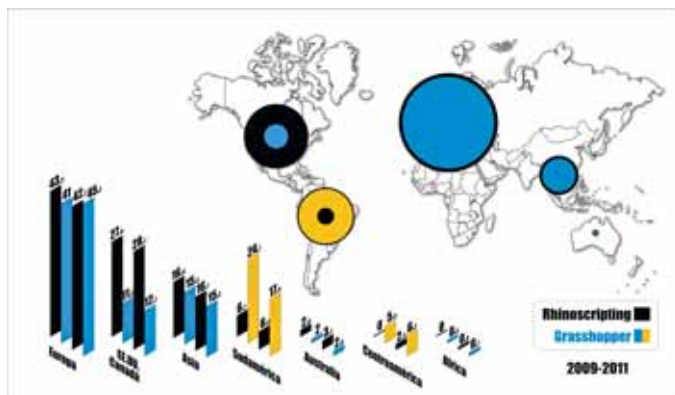


Figura 1. Movimiento migratorio y retorno hacia América del Sur. / Fuente: Herrera, P. Fabricación digital en Latinoamérica: problemas y perspectivas. (2002-2010).]

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 (MECESUP), 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 acertó 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 Trans/national 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 Weiguo, 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.