

CAMBIOS EN
LA CADENA DE
PRODUCCIÓN
ARQUITECTÓNICA
EN
LATINOAMÉRICA
CON LA
INTRODUCCIÓN
DE NUEVAS
TECNOLOGÍAS

Cambios en la cadena de producción arquitectónica en Latinoamérica con la introducción de nuevas tecnologías

Changing the Architectural Production Chain in Latin America with the introduction of New Technologies

Fecha Recepción: 18 julio 2016

Fecha Aceptación: 5 agosto 2016

PALABRAS CLAVE

Industria de alta tecnología | modelado paramétrico | fabricación digital | procesos *file-to-factory* | arquitectura latinoamericana

KEYWORDS

High-Tech Industry | Parametric Modeling | Digital Fabrication | File-To-Factory | Latin American Architecture

Gabriela Celani

Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção

Universidade Estadual de Campinas

Campinas, Brasil

celani@fec.unicamp.br

Resumen_

En décadas pasadas, nuevas tecnologías provenientes de las industrias de alta tecnología se han introducido en el diseño arquitectónico y en el proceso de construcción. En este artículo mostramos cómo se llenó el espacio entre diseño y producción en el mundo desarrollado y analizamos cómo el método *file-to-factory* podría ser implementado en el contexto latinoamericano.

Abstract_

In the past decades, new technologies coming from the high-tech industry have been introduced in architectural design and the building process. In this article we show how the gap between design and production was filled in the developed world and discuss how the *file-to-factory* method could be implemented in the Latin American context.

El diseño y la construcción de edificios han experimentado grandes transformaciones desde fines del siglo XX con la introducción de nuevos métodos y tecnologías, tales como el modelado de información de la edificación (BIM, por sus siglas en inglés), el diseño paramétrico, el prototipado rápido y la fabricación digital. En Latinoamérica, como se mostró recientemente en la exposición “Homo Faber”, los laboratorios de fabricación digital son cada vez más comunes, impulsando la innovación en el diseño arquitectónico tanto en el ámbito académico como en la práctica. Al mismo tiempo, es posible afirmar que los equipos de control numérico computarizado (CNC) de última generación están presentes en muchos sectores industriales en nuestra región. Sin embargo, los arquitectos no suelen estar conscientes de esto y a menudo lo que se diseña con *softwares* de última generación es posteriormente producido con técnicas tradicionales de construcción.

En este artículo daremos primero una mirada a los conceptos de producción flexible, personalización masiva y diseño paramétrico, así como a la reciente introducción de estos nuevos métodos en el diseño arquitectónico y en el proceso de construcción en el mundo desarrollado y en Latinoamérica. También mostraremos evidencias de que en la región existe una base instalada de equipos industriales controlados por computador, con máquinas de última generación disponibles en muchos sectores industriales debido a una reciente reducción considerable en el precio de los equipos. Luego veremos cómo se ha superado la distancia entre las oficinas de arquitectura y estos nuevos métodos de producción en los países desarrollados. Finalmente, discutiremos las ventajas y desventajas del método *file-to-factory*⁽¹⁾ y cómo podría ser implementado por las oficinas de arquitectura en Latinoamérica.

Desde la Primera Revolución Industrial, marcada por la invención del telar mecánico en 1784, la introducción de nuevas tecnologías ha transformado significativamente los métodos de producción. Cada uno de ellos ha tenido un impacto importante en la arquitectura y el diseño urbano. A comienzos del siglo XX, la Segunda Revolución Industrial

se caracterizó por el concepto de producción en masa y la economía de escala. En la década de los setenta, la introducción de máquinas controladas por computador cambió estas lógicas de producción industrial, originando una Tercera Revolución Industrial. La principal característica de estas máquinas es la flexibilidad, lo que significa que tienen la capacidad de crear diferentes tipos de productos, o realizar los mismos procedimientos con parámetros diferentes, permitiendo la producción en masa de piezas para la construcción con diseños únicos. Un buen ejemplo de máquina de fabricación flexible es la cortadora láser. En lugar de invertir en troqueles o guillotinas que corten figuras específicas, las fábricas ahora invierten en máquinas que pueden cortar cualquier forma especificada por un archivo digital. Este concepto se llama *file-to-factory*, y también se aplica a la impresión en 3D y al fresado CNC, que pueden sustituir a moldes costosos. También hay nuevos avances en moldes de pines flexibles CNC, por ejemplo para la producción de paneles de doble curvatura de cristal o metal.

El concepto de personalización masiva, descrito por primera vez por Stan Davis en *Future Perfect* (1987), ha sido explorado por los arquitectos como un nuevo método de producción que puede erradicar completamente la repetición y la monotonía en la construcción. El Museo Guggenheim de Frank Gehry en Bilbao, construido en 1997, es reconocido como el primer edificio a gran escala que usó efectivamente esta tecnología. Las miles de piezas que componen la fachada de titanio de este edificio fueron curvadas individualmente con una cilindadora CNC, haciendo el proyecto factible, al menos en términos de recursos⁽²⁾. El complejo habitacional Neuer Zollhof en Düsseldorf, terminado en 1998 y también diseñado por Gehry, es otro de los primeros ejemplos del uso de tecnología CNC en el proceso de construcción, en este caso para tallar enormes bloques de espuma de poliestireno que se usaron como moldes de paneles curvos de concreto.

Para aprovechar las ventajas de los nuevos métodos de producción flexible, la oficina de Frank Gehry tuvo que adoptar, por lo menos inicialmente, *software* paramétrico

(1) N. del editor: El concepto *file-to-factory* se traduce literalmente como “del archivo a la fábrica”.

(2) Actualmente se han desarrollado nuevos métodos de racionalización para hacer que esta tecnología también sea factible económicamente.



Exposición "Homo Faber: Digital Fabrication in Latin America". Conferencia CAAD Futures (6-31 de julio, 2015, Escola da Cidade, São Paulo, Brasil).
Fotografía: Daniel Martínez.

CAD/CAM originalmente desarrollado para la industria aeroespacial, el que era mucho más poderoso que el *software* CAD usado entonces por los arquitectos. Esto requirió una estrecha interacción con ingenieros de *software*, lo que eventualmente llevó al desarrollo de Digital Project, un *software* basado en CATIA de Dassault Systèmes, con una nueva interfaz gráfica más adecuada para el diseño arquitectónico. Otras tecnologías adoptadas por la oficina de Gehry que también fueron obtenidas de la industria mecánica fueron el escaneo 3D y el prototipado rápido⁽³⁾.

En 2001, en Europa se fundó el grupo SmartGeometry «como una red informal de diseñadores interesados en aprovechar las capacidades de la computación en el diseño arquitectónico» (Peters & Peters, 2013: 8). Su trabajo llevó al desarrollo de otro programa revolucionario que también estaba orientado al diseño paramétrico y la producción CNC: GenerativeComponents. Usado en la práctica desde 2005 y lanzado comercialmente en 2007, GC estaba basado en el sistema CAD de Bentley y fue desarrollado en estrecha colaboración con otra destacada oficina de arquitectura, Foster + Partners.

Este cambio de paradigma en la arquitectura —el uso de *software* paramétrico para diseñar y modelar, así como la producción con máquinas CNC de componentes constructivos de formas libres— fue reconocido por críticos como Branko Kolarevic en *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing* (2003), y estuvo presente en exposiciones como “Architectures non standard” en el Centro Georges Pompidou de París (2002-2003), y “Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling”, en el Museo de Arte Moderno (MoMA) de Nueva York (2008).

Desde entonces, estos métodos han sido adoptados por muchas oficinas y escuelas de arquitectura gracias a una

dramática reducción en el costo y al aumento de la disponibilidad de máquinas y *software*, especialmente impresoras 3D y cortadoras laser. Grasshopper⁽⁴⁾, un lenguaje de programación visual desarrollado por David Rutten sobre una plataforma CAD de McNeel (2008), es actualmente el *software* de modelado paramétrico más popular, no solamente debido a su bajo costo, sino también a que no requiere necesariamente destrezas de programación tradicional. Al mismo tiempo, también han surgido máquinas de prototipado rápido de bajo costo. Las impresoras 3D, por ejemplo, que hasta 2005 solían costar 20.000 USD, ahora se venden por menos de 500 USD.

Los primeros grupos latinoamericanos interesados en la aplicación del diseño paramétrico y la fabricación digital en arquitectura fueron fundados a comienzos de los años 2000, generalmente en las universidades, por académicos que habían hecho estudios de postgrado en Europa y Estados Unidos. En ese entonces, el diseño paramétrico generalmente se implementaba escribiendo algoritmos basados en texto, usando lenguajes de programación como Autolisp, VBA para AutoCAD o Rhinoscript. La popularización y la creciente accesibilidad de los *softwares* de modelado paramétrico y las máquinas de prototipado rápido tuvieron como resultado la creación de muchos nuevos grupos y laboratorios de investigación dedicados a estos temas desde 2010.

En 2015, la exposición “Homo Faber - Digital Fabrication in Latin-America⁽⁵⁾”, que tuvo lugar en São Paulo, mostró que estas nuevas tecnologías ya estaban bien establecidas en la región. “Homo Faber” fue dirigida por los profesores David Sperling y Pablo Herrera, de la Universidad de São Paulo y la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas respectivamente, y en ella estuvieron presentes 25 de los 70 laboratorios y grupos de investigación que hay, según se estima, en este campo de especialidad. Dos tercios de los laboratorios participantes habían sido creados en los tres años anteriores, lo que muestra cómo se expandió el movimiento después de 2010. La mayoría de ellos estaba

(3) En ese tiempo, “prototipado rápido” era sinónimo de fabricación aditiva, que era todavía un método caro y en desarrollo que solamente podían costear las industrias automotrices y aeroespaciales, útil para hacer modelos a escala y prototipos. Actualmente, el término “fabricación digital” se usa más comúnmente para referirse a todos los métodos de fabricación controlados por computación, para producir tanto prototipos como partes finales. “Impresora 3D” es ahora la palabra común para referirse a las máquinas de fabricación aditiva, especialmente máquinas de modelado por deposición fundida (FDM, por su siglas en inglés) de bajo costo.

(4) Una primera versión de Grasshopper fue lanzada inicialmente en 2007 con el nombre de Explicit History.

(5) El catálogo de la exposición está disponible en https://issuu.com/davidmsperling/docs/homofaber_catalogue.

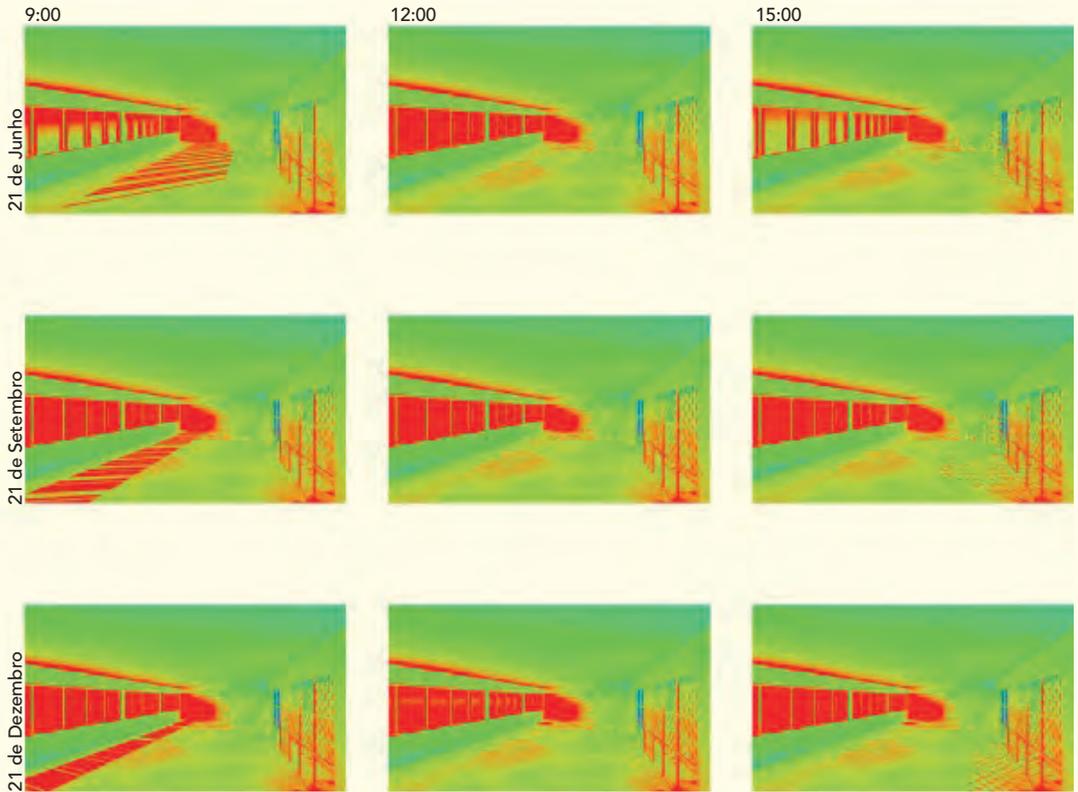


Albañil disponiendo ladrillos mediante el uso de guías de cartón confeccionadas a través de corte láser. Proyecto coBLOgo, de SUBdV Studio.



Fachada de coBLOgo, de SUBdV Studio, un diseño paramétrico inspirado en el trabajo de Gramazio y Kohler, pero construido con un método low-tech.

Iluminância



Estudio de luz interior para el proyecto coBLOgo, de SUBdV Studio.

ligado a las universidades, probablemente debido al costo de las inversiones, pero también había algunos laboratorios nuevos creados por firmas privadas, lo que será probablemente la tendencia con la reducción en el costo de las máquinas de fabricación digital. Los curadores también se refirieron al «predominio de aplicaciones en la producción de objetos pequeños» (Sperling & Herrera, 2015: 10) —es decir, modelos a escala y pequeños prototipos— en lugar de aplicaciones en la producción directa de elementos para la construcción, tales como moldes para concreto.

Una de las oficinas de arquitectura que participó en “Homo Faber” fue Frontis 3D⁽⁶⁾, de Bogotá, dirigida por el arquitecto Rodrigo Velasco, la que presentó Neutral Voronoi, un sistema constructivo para fachadas a base de componentes fabricados con corte láser. A comienzos de los años 2000, después de graduarse en Arquitectura en la Universidad Nacional de Colombia, Velasco siguió estudios de postgrado en Diseño Computacional en Alemania, en la escuela Hochschule Ostwestfalen-Lippe, y luego trabajó en proyectos de investigación y práctica en la Universidad de Nottingham, Inglaterra, así como en Hong Kong.

Otra oficina presente en la exposición fue SUBdV⁽⁷⁾, fundada originalmente en Londres por dos arquitectos, el brasileño Franklin Lee y la norteamericana Anne Save de Beaucueil. Ellos enseñaron en el Instituto Pratt y la Universidad de Columbia en Nueva York a comienzos de los años 2000, donde también obtuvieron sus primeras maestrías. Beaucueil también ha trabajado en destacadas oficinas como la de Zaha Hadid en el Reino Unido y Ken Yeang en Malasia. Desde 2005 a 2010, Lee y Beaucueil fueron instructores en la Architectural Association en Londres y luego se trasladaron a São Paulo, donde dirigieron el AA São Paulo Visiting School de 2010. Desde entonces, su trabajo ha estado dirigido hacia las maneras de aplicar en el contexto brasileño las nuevas tecnologías que se usaban en el mundo desarrollado, con un enfoque que llamaron “*high-low fusion*”. SUBdV presentó un proyecto llamado CoBLOGó, una referencia al tradicional sombreadero brasileño —el *cobogó*—. El proyecto consiste en una fachada

diseñada paraméricamente inspirada por el trabajo de Gramazio y Kohler en el ETH Zúrich. Sin embargo, en esta versión tropical se usaron bloques baratos de concreto en lugar de ladrillos de cerámica de buena calidad, y los robots industriales que instalan ladrillos fueron sustituidos por guías cortadas digitalmente que se usaron para dirigir a los obreros no especializados que colocaron los ladrillos.

Protobox⁽⁸⁾ es otro ejemplo de esta nueva generación de profesionales, pero en el caso de los socios —Wilson Barbosa Neto y Renata la Rocca—, ambos han hecho estudios de postgrado en Brasil como estudiantes de profesores que hicieron sus PhDs en el extranjero, en el MIT y La Sorbona respectivamente. Sin embargo, es importante hacer notar que Barbosa también tuvo experiencia profesional en Sidney, Australia, donde tuvo su primer contacto con el uso de la fabricación digital en la industria de la construcción. Esta oficina de Campinas, fundada recientemente (2015), presentó Dobrá, un conjunto de muebles de terraza diseñados paraméricamente y hechos a la medida con cortadoras de plasma y dobladoras CNC. Lo interesante acerca de este proyecto es que los muebles no tienen una forma especialmente compleja. Por el contrario, el diseño es muy sencillo y casi moderno, pero sirvió para que la oficina probara cómo el uso de la fabricación digital puede ser ventajoso aun en diseños no muy extremos. También es importante hacer notar que el conocimiento de Barbosa sobre este tipo de proceso de manufactura fue el resultado de su práctica en una industria metalúrgica de alta tecnología mientras hacía sus estudios de maestría en la Universidad de Campinas⁽⁹⁾.

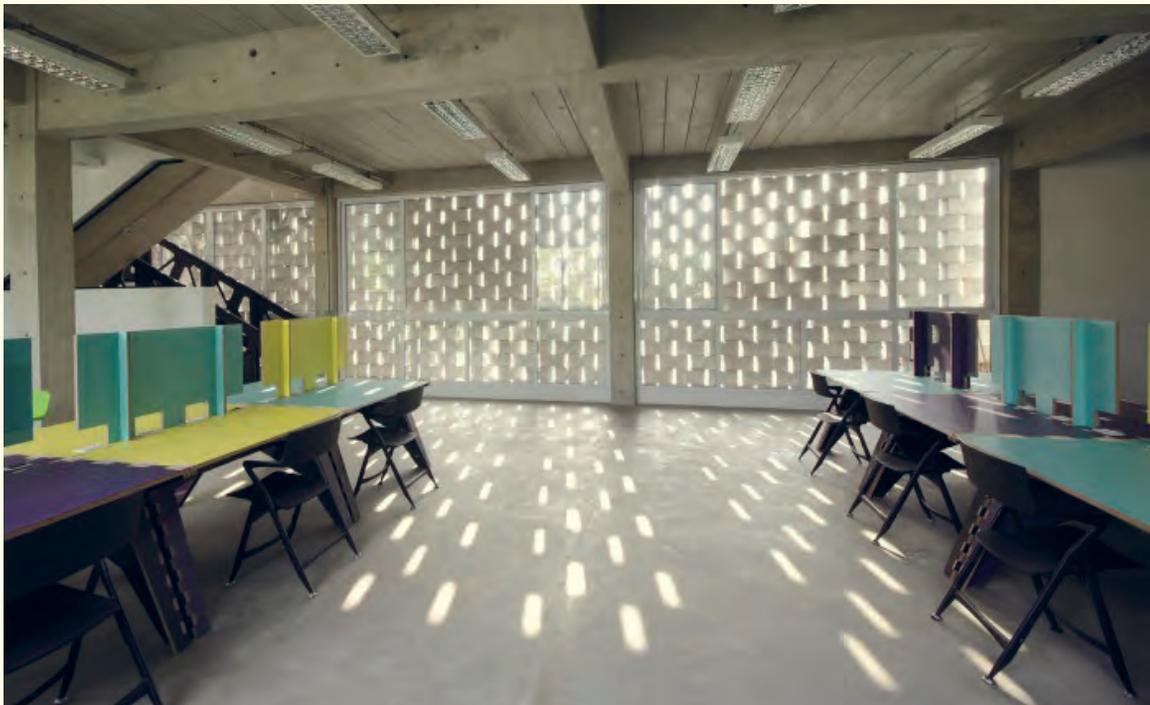
Todos los ejemplos descritos anteriormente implican a pequeñas oficinas de arquitectura que funcionaban de manera casi subversiva, buscando proyectos alternativos y clientes de mentalidad abierta, evitando desesperadamente caer en el aburrimiento del sistema establecido, que tendía a responder directamente al mercado inmobiliario. Una de las razones por las que han tenido éxito

(8) Ver www.facebook.com/protobox.br/about/?entry_point=page_nav_about_item&tab=overview

(9) Ver Barbosa Neto, 2013.

(6) Ver <http://frontis3d.co/site/en>

(7) Ver www.subdv.com



Arriba y abajo: dos imágenes internas del proyecto coBLOgo, de SUBdV Studio.

introduciendo nuevos métodos de diseño en la práctica es la disponibilidad de equipos CNC en sus regiones. En 2009, durante una conferencia SIGraDi en São Paulo, la cumbre anual de arquitectura y diseño digital latinoamericano, el profesor Neander Furtado Silva, de la Universidad Nacional de Brasilia, demostró que la industria brasileña ya estaba equipada con máquinas computarizadas de última generación, que podían hacer realidad el proceso *file-to-factory* de un arquitecto (Furtado Silva, Bridges, Lima, Aguiar Morais, & Silva Júnior, 2009). Él hacía notar las posibles implicancias de esta base instalada para el futuro de la arquitectura en Brasil, considerando la posibilidad de incorporar la personalización masiva en el proceso arquitectónico y de construcción, permitiendo la producción de formas complejas a un costo razonable.

Una rápida búsqueda en internet muestra que no solamente Brasil, sino también Chile, Colombia, Perú, México y Argentina, y probablemente otros países latinoamericanos, también están equipados con máquinas CNC en muchos sectores industriales. He visto personalmente cómo algunas de esas máquinas extremadamente sofisticadas son usadas para cortar simples cuadrados y círculos, cuando podrían estar cortando formas extremadamente complejas a partir de un modelo paramétrico sin costo adicional. La crisis económica por la que está pasando la región podría ser una oportunidad para que los arquitectos comiencen a usar las máquinas que están detenidas en este momento, como sugería Kolarevic (Celani, 2013), pero... ¿están listos para eso los arquitectos? Si bien estos nuevos paradigmas están comenzando a ser introducidos en muchas escuelas de arquitectura, toma tiempo cambiar la cultura y no siempre es suficiente el conocimiento obtenido en el estudio académico para comenzar un nuevo tipo de práctica.

Como he señalado en un artículo publicado recientemente (Celani & Lenz, 2014), para unir el espacio entre el proceso creativo y la producción CNC, en Europa y los Estados Unidos se han usado tres soluciones: equipos internos, firmas consultoras especializadas y servicios ofrecidos por la industria. A comienzos de los años 2000, ante la necesidad de resolver el diseño y la construcción de edificios cada vez más complejos, como el Swiss RE en Londres, las grandes oficinas requirieron profesionales con destrezas

interdisciplinarias que pudiesen manejar temas de geometría avanzada y fabricación digital. Es así como Foster + Partners creó el Specialist Modeling Group⁽¹⁰⁾ y como Arup dio vida a su Advanced Geometry Unit⁽¹¹⁾. Sin embargo, esta es una solución cara que solamente pueden costear grandes oficinas de arquitectura e ingeniería. Cuando las oficinas de tamaño medio empezaron a necesitar el mismo tipo de servicios, surgieron empresas consultoras independientes, tales como Designtoproduction⁽¹²⁾, una firma con base en Stuttgart y Zúrich que ha asesorado a oficinas como UN Studio, Renzo Piano y Shigeru Ban. Entre los servicios provistos por estas consultoras están el modelado paramétrico de formas complejas y la teselación y racionalización de superficies, permitiendo que se construyan a un costo razonable. Finalmente, para las oficinas pequeñas, algunas industrias manufactureras han creado departamentos especiales que ayudan a los arquitectos a traducir sus ideas en componentes hechos en CNC. Este es el caso de las firmas americanas Metalab⁽¹³⁾, Milgo⁽¹⁴⁾ y Zahner⁽¹⁵⁾.

En Latinoamérica no hemos encontrado ningún ejemplo formal de los tres tipos de soluciones descritos arriba, aun cuando podría haber algunos consultores individuales que actúan en el área en ocasiones especiales. Estos tipos de apoyo han demostrado ser fundamentales para la integración de la arquitectura y los nuevos métodos de producción en los países desarrollados y podrían ser un nicho potencial para arquitectos latinoamericanos jóvenes dispuestos a obtener experiencia en este campo.

Si miramos el paradigma de la arquitectura digital como una intersección entre diseño arquitectónico y desarrollo industrial, en lugar de adoptar el glamoroso punto de vista tecnológico de las oficinas de *starchitecture*, podemos empezar a formular estrategias para traer un nuevo desarrollo a la arquitectura latinoamericana. Con esto en mente, no necesitamos temer la traducción directa de los estilos internacionales fuera de contexto que simplemente

(10) Ver www.fosterandpartners.com/design-services/research/specialist-modelling-gro

(11) Ver <https://aefirms.wordpress.com/2011/01/27/arup-advanced-geometry-unit>

(12) Ver <http://www.designtoproduction.com>

(13) Ver www.metalabstudio.com

(14) Ver www.milgo-bufkin.com

(15) Ver www.azahner.com



Neutral Voroni, sistema de corte láser y fachada diseñado paramétricamente por la oficina de Bogotá Frontis 3D.

ignoran nuestra fuerza laboral en su mayor parte no calificada. Pueden ocurrir cambios en el lugar de la construcción y no solamente en el escritorio del arquitecto (o en este caso, los archivos del computador), como han señalado autores como Fabricio (2013). Una nueva cultura de estrecha colaboración entre arquitectos, industrias y contratistas es la clave posible para una efectiva asimilación de nuevas tecnologías en toda la cadena de producción arquitectónica. Esto podría efectivamente cambiar la práctica de la arquitectura en Latinoamérica. 

REFERENCIAS

- BARBOSA NETO, W. (2013). *Do projeto à fabricação: um estudo de aplicação da fabricação digital no processo de produção arquitetônica [Del diseño a la fabricación: Un estudio de aplicación de la fabricación digital en el proceso de producción arquitectónica]*. Tesis de Magíster, Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Urbanismo, Universidad Estatal de Campinas. Disponible en: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000926019>.
- CELANI, G. (Ed). (2013). Chat with Branko Kolarevic. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 4(2), 38-44. Disponible en: <http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634551/2472>
- CELANI, G., & LENZ, D. (2014). Novas tecnologias na construção de edifícios: estabelecendo a ponte entre o processo criativo e a produção por controle numérico [Nuevas tecnologías en la construcción de edificios: Estableciendo un puente entre el proceso creativo y la producción por control numérico]. *Cadernos PROARQ*(23), 138-151. Disponible en: <http://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/public/docs/cadernosproarq23.pdf>.
- DAVIS, S. (1987). *Future Perfect*. Reading, MA, EE.UU.: Addison-Wesley.
- FABRICIO, M. M. (2013). Industrialização das construções: revisão e atualização de conceitos [La industrialización de edificios: Revisión y actualización de conceptos]. *Pós*, 20(33), 228-248.
- FURTADO SILVA, N., BRIDGES, A., LIMA, E., AGUIAR MORAIS, H., & SILVA JÚNIOR, F. (2009). A indústria da Construção Civil está Pronta para a Fabricação Digital e a Customização em Massa? Uma Pesquisa sobre um Caso Brasileiro [¿Está la industria de la construcción lista para la fabricación digital y la personalización masiva? Un estudio sobre el caso brasileño]. *SIGraDi*. São Paulo. Disponible en: http://papers.cuminacad.org/data/works/att/sigradi2009_1079.content.pdf.
- KOLAREVIC, B. (2003). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. Nueva York, NY, EE.UU.: Spon Press.
- PETERS, B., & PETERS, T. (2013). *Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design*. Londres, Inglaterra: Wiley.
- SPERLING, D. M., & HERRERA, P. C. (2015). *Homo Faber: Digital Fabrication in Latin America*. São Carlos, Brasil: Instituto de Arquitetura e Urbanismo. Disponible en: http://www.fec.unicamp.br/~celani/caadfutures_2015/homofaber_catalogue.pdf