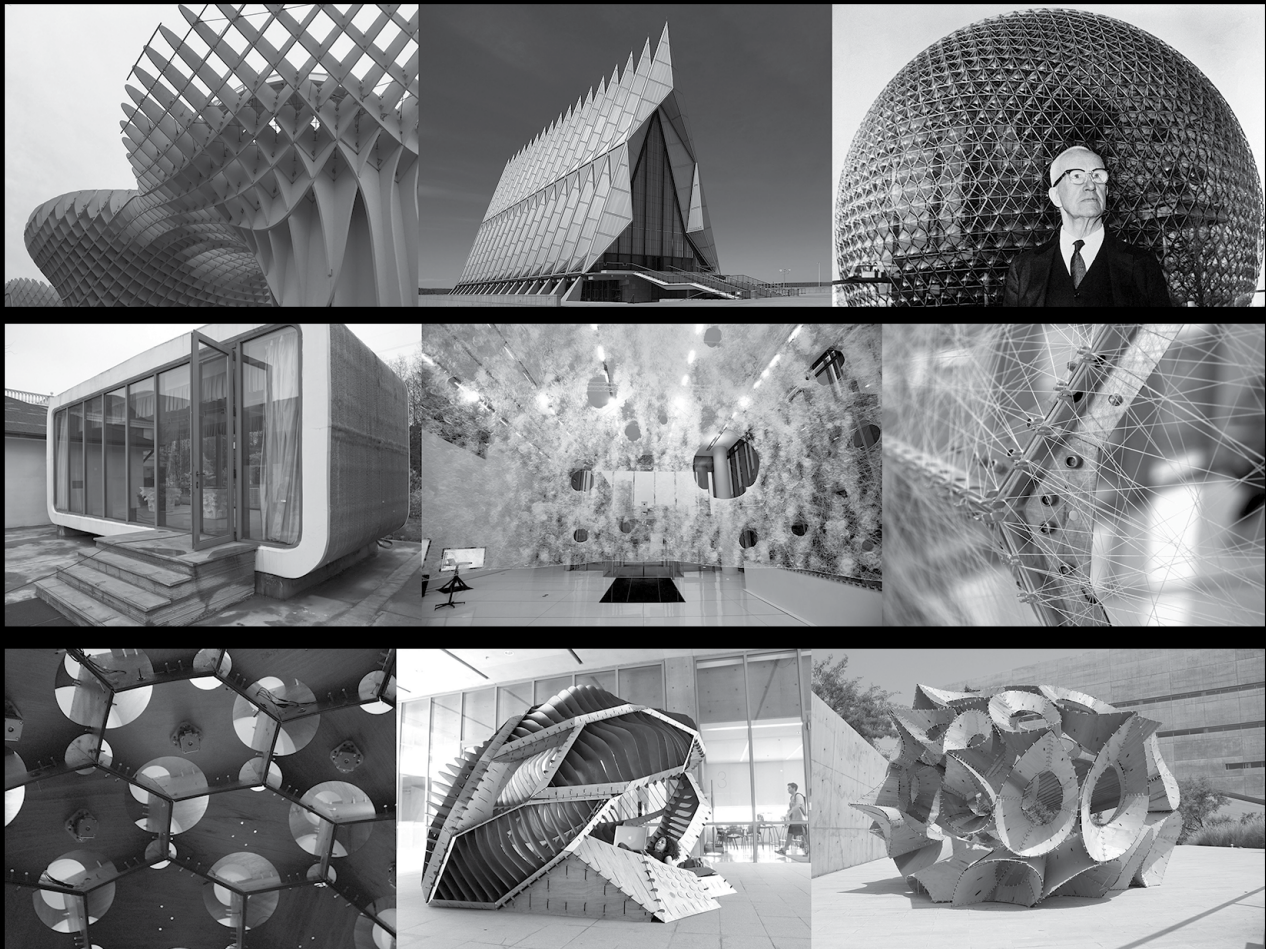


01

Átomos y bits.

Una reflexión sobre la generación del proyecto en los albores de la cuarta revolución industrial



Este artículo pretende reflexionar, desde un punto de vista académico, sobre el potencial de la fabricación digital como técnica pero también como modo de pensar y concebir el proyecto de arquitectura en los albores de la cuarta revolución industrial. Hace foco sobre el escenario latinoamericano y sus oportunidades de desarrollo en un nuevo contexto disruptivo. El objetivo principal de este trabajo es contribuir a la comprensión de un nuevo paradigma en permanente evolución, además de agregar otro ladrillo a la plataforma teórico–conceptual que sustenta este nuevo fenómeno digital.

Crystal effect. Reflections on architecture

This paper intends to reflect, from an academic point of view, on the potential of digital fabrication as a technique but also as a way of thinking and conceiving the architectural project in the beginning of the fourth industrial revolution. It also focuses on latin–american scenario and its development opportunities in a new disruptive technological context. The main goal of this paper is to contribute to the understanding of this new paradigm which is in permanent evolution, and also to add a brick to the theoretical platform that supports the study of new digital phenomenon.



Autor

Mg. Arq. Fernando García Amen

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad de la República
Uruguay

Palabras claves

América Latina
Código abierto
Digitalización
Fabricación asistida por ordenador
Industrialización

Key words

Digitalization
Industrialization
Latin America
Manufacturing
Open source

Artículo recibido | Artigo recebido:

31 / 03 / 2018

Artículo aceptado | Artigo aceito:

14 / 06 / 2018

Email: efe@fadu.edu.uy

INTRODUCCIÓN

Este artículo pretende generar una reflexión, a la vez que una mirada específica, sobre la concepción del diseño proyectual y su integración con las nuevas tecnologías que dan sustento a lo que Schwab (2016) denomina «la cuarta revolución industrial». Si bien este paradigma involucra todos los aspectos de la agenda social y productiva de la humanidad, se pondrá énfasis en este trabajo en los aspectos vinculados a la integración tecnológico–proyectual, con una lente de ampliación sobre el escenario latinoamericano actual y sus perspectivas futuras.

Este paradigma explicativo del estadio actual de integración social y tecnológica posiciona a las nuevas tecnologías como el componente clave de construcción social, industrial y cultural en un sentido amplio. De acuerdo con el mismo, el entramado tecnológico que cubre todas las actividades humanas se caracteriza por tres elementos: la velocidad, el alcance, y el alto impacto en los sistemas. El diseño proyectual, en tanto que disciplina creativa, no es ajeno a esto.

Autores como Chermayeff y Alexander concibieron a la tecnología como

«un complemento y no un sustituto del talento creativo, que mientras esta no pueda inventar, puede explorar relaciones muy rápida y sistemáticamente de acuerdo a reglas preestablecidas, funcionando como una extensión natural de la habilidad analítica del hombre» (1963).

No obstante, hoy la trama tecnológica se ha desarrollado sobre patrones definidos, que han posicionado a la inteligencia artificial, la nanotecnología, la impresión 3D y la fabricación digital como cimientos del cambio (Schwab, 2016).

La cuarta revolución industrial se concibe como un nuevo estadio de convergencia entre la sociedad y la tecnología, donde elementos disruptivos comienzan a tener incidencia en los modos de comprender, de producir y de transmitir el conocimiento. La Internet de las Cosas (IoT), el *blockchain*, la impresión 3D, muestran una progresión exponencial de las tecnologías digitales que repercute en todas las actividades humanas. La construcción (tanto la digital como la física) no queda al margen de esto sino que, por el contrario, se nutre de ello.

El pasaje de bits a átomos (y viceversa) no puede ser concebido sin la mediación tecnológica. La concepción en bits se traduce en átomos mediante tecnologías de producción canalizadas en técnicas diversas que a su vez crecen y se desarrollan con ritmo acelerado en laboratorios y centros de investigación.

En el ámbito universitario, la iniciativa de los laboratorios de fabricación digital, conocidos como Fab Labs, tiene su origen en el MIT, estimándose su génesis en el año 2001 a partir de las investigaciones de Neil Gershenfeld acerca de la relación existente entre la información y su representación física. Sin embargo, corresponde especificar que el origen de la fabricación digital es algo más remoto: «The roots of the revolution date back to 1952, when researchers at the Massachusetts Institute of Technology (MIT) wired an early digital computer to a milling machine, creating the first numerically controlled machine tool» (Gershenfeld, 2012). Desde ese momento, la cultura *hacker/maker* nutrió las raíces de las estructuras universitarias en torno a la fabricación digital y a su sustrato teórico. Los Fab Labs vinieron a conformar los primeros núcleos formales destinados a la investigación académica sobre todas las ramas y vertientes de la fabricación digital. Sin embargo, no son hoy la única fuente. Aunque se trata de una disciplina todavía incipiente en la industria, las universidades a nivel global, y específicamente a través de sus escuelas de ingeniería y diseño, están tejiendo una red de nodos dedicados a la investigación y producción sobre nuevas tecnologías aplicadas a la fabricación. Estos nodos se clasifican usualmente como *makerspaces*, *hackerspaces* y, por supuesto, Fab Labs, y existen algunas pocas pero marcadas diferencias de enfoque entre los tres tipos de laboratorios (Van Holm, 2015).

Esta red, que comienza a crecer sin un plan coordinado en muchos casos pero con objetivos similares, plantea con distintos puntos de énfasis las relaciones existentes entre la génesis del diseño desde lo digital y su traducción en átomos mediante diferentes procesos circunscriptos a las tecnologías de la información. David Sperling (2015) define no sin cierta poética este crecimiento como «the migratory movement of Homo Faber». El Homo Faber sería, en este caso, una visión del *maker*, una figura retórica que alude al fabricante/diseñador de objetos/procesos/proyectos. En otras pa-

labras, la máquina deseante detrás de las máquinas inteligentes que conforman y dan soporte y esencia a los espacios de producción (Kurzweil, 1999).

Este artículo se estructura con un breve estado del arte del tema de estudio, continúa con un resumen del avance en las investigaciones realizadas, y concluye con un planteo de posibles escenarios configurados a través de la formulación de interrogantes que a lo largo del desarrollo del proceso de tesis se buscará responder.

El trabajo sustenta su pertinencia en el marco del Doctorado en Arquitectura en tanto busca construir un aporte disciplinar a partir de la experiencia teórico/práctica desarrollada en el Laboratorio de Fabricación Digital MVD desde su fundación en 2009 y cimentar el surgimiento del futuro Diploma en Diseño Paramétrico y Fabricación Digital, aún en etapa de elaboración. Este buscará proponer y promover nuevas formas de pensar la producción proyectual a partir de las TIC. Asimismo, la integración de dicho laboratorio a las redes regionales e internacionales de investigación en la misma temática (SIGRaDi, CAADRiA, CaaDFutures) ha contribuido a un proceso de involucramiento creciente dentro de la disciplina proyectual que ha derramado sobre una serie de experiencias concretas. Estas experiencias, su génesis, su concepción y su integración en el modo de pensar y hacer el acto proyectual ameritan ser estudiadas y analizadas como forma de diseccionar y comprender la acción proyectual en la llamada cuarta revolución industrial pero también como modo de erigir una atalaya desde la cual apreciar, analizar y —¿por qué no?— construir una perspectiva regional latinoamericana.

Estado del arte

Es menester, antes de profundizar en el tema, establecer una delimitación de corte temporal y taxonómico para formalizar un marco teórico capaz de cubrir el espectro de posibilidades que el objeto de estudio genera.

En 1969, Gordon Pask puso de relieve la existencia de una relación cibernética entre el controlador (el arquitecto) y el diseño, donde la autoridad deja de pertenecer al primero para conformar una relación recíproca (Pask, 1969). Esta relación de reciprocidad que se da a través de la máquina sienta en cierto modo las bases de la fabricación digital contemporánea, para la que en este trabajo se va a establecer como punto de inicio el

año 2001. Esta fecha, que *a priori* puede resultar antojadiza, se fija intencionalmente para coincidir con el surgimiento del Center for Bits and Atoms del MIT, que da inicio al primer Fab Lab.

Se denominará pues como «fabricación digital» a todas las técnicas de pasaje de átomos a bits —y viceversa— mediante tecnologías digitales, en sus diferentes modos de aplicación, y tomará como horizonte temporal de análisis la propia génesis de la fabricación digital contemporánea, con el nacimiento del Fab Lab.

Es a partir de esta institucionalización que la construcción del corpus teórico de la fabricación digital crece incrementalmente y se expande a otros laboratorios universitarios, empresas y estudios profesionales, formando así una red de intercambio que se torna cada día más activa y canaliza las investigaciones sobre el tema.

«Making becomes knowledge or intelligence creation. In this way thinking and doing, design and fabrication, and prototype and final design become blurred, interactive, and part of a non-linear means of innovation» (Speaks, 2002). La fabricación digital, que tiene entre sus sustentos conceptuales a la filosofía *maker*, sostiene una línea de pensamiento en la cual pensar y hacer concurren en un único camino simultáneo que confluye, además, con la difusión de lo realizado. Flusser (1999) se refiere a esto como el punto donde «the creative potential of Homo Faber will come into its own».

Asimismo, la revolución que implica la fabricación digital toma distancia de la adopción del CAD, que ha sido en los últimos 50 años el estándar de producción por el solo hecho de reemplazar la representación tradicional por la informática. La fabricación digital no es una herramienta que sustituya a otras sino un nuevo paradigma desde el cual pensar la práctica proyectual. La posibilidad de pensar el diseño desde la acción, y la acción desde el diseño, construye una simbiosis entre idea y producto final, que conforma la relación recíproca referida por Pask.

Lisa Iwamoto se refiere en estos términos:

«For many years, as the process of making drawings steadily shifted from being analog to digital, the design of buildings did not really reflect the change. CAD replaced drawings with parallel rule and lead pointer, but buildings looked pretty much the same. This is not so surprising —one form of two

dimensional representation replaced another. IT took three-dimensional computer modeling and digital fabrication to energize design thinking and expand the boundaries of architectural form and construction». (2009)

Diseño computacional y fabricación digital se unen entonces en una relación biunívoca, acaso simbiótica, que puede ser aprehendida desde varias ópticas: el modo de generación de geometrías digitales, las operaciones matemático-espaciales que definen esas geometrías, las estrategias proyectuales a adoptar, y la integración de la robótica como proceso proyectual.

Generación de geometrías digitales: CAD/CAM, Nurbs, y mallas

Uno de los primeros ejemplos de la expansión de límites referida por Iwamoto en la práctica profesional podría ser el Walt Disney Concert Hall de Frank Gehry (1989), que en su hacer suma a la tecnología CAD la tecnología CAM, conformando el binomio complementario CAD/CAM, que suma a las conocidas capacidades del CAD (*Computer-aided design*) las virtudes del CAM (*Computer-aided manufacturing*). En este ejemplo, aunque no se trata de un caso de fabricación digital en sentido estricto, el mismo estudio ha desarrollado sus propias herramientas digitales para pensar y definir el proyecto desde la fabricación prototípica y la modificación paramétrica. (Fig. 1)

La tecnología CAD permite entonces una aproximación al CAM que redunde en innovadoras posibilidades formales. Aun así, no constituye la herramienta más apropiada en todos los casos. Hasta la aparición de las tecnologías digitales, las superficies complejas y formas curvilíneas en general se obtenían por medio de aproximaciones, empleando círculos, tangentes, arcos y otras figuras conocidas simples que sirvieran de auxiliares al diseño buscado o que se pudieran trasladar del dibujo al sitio.

El Nurbs (*Non-uniform rational based spline*), modelo matemático para la generación de formas complejas creado en 1946, conforma el diseño a partir de diversas fórmulas poligonales relacionadas por medio de puntos de control, fuerzas, y nodos. El modelo Nurbs adquiere, a partir de su aplicación mediante las tecnologías de la información, un rol preeminente para la ge-

neración de geometrías complejas a partir de elementos simples, brindando con esto al diseñador un instrumento de increíble potencial al servicio de la creación.

«Nurbs are a digital equivalent of the drafting splines used to draw complex curves in the cross-sections of ship hulls and airplanes fuselages. Those splines were flexible strips made of plastic, wood or metal that would be bent to achieve a desired smooth curve, with weights attached to them in order to maintain the given Shape.» (Kolarevic, 2003)

El tercer método de generación formal es el de mallas. La malla es un conjunto de vértices, ejes y caras que definen una geometría poliédrica que a su vez determina un objeto. Esto se emplea en su mayor parte para la generación de modelos de objetos tridimensionales. Un vértice es el punto de conexión de dos formas geométricas. Un eje es la conexión entre dos vértices. Una cara es el espacio encerrado entre vértices que describen una forma geométrica. Un conjunto de caras forma un polígono. Y el conjunto de polígonos define una malla. Las mallas determinan formas complejas y asimismo sirven para previsualizar, mensurar y determinar comportamientos físicos de elementos finitos.

La generación formal a través de los métodos descriptos estrena una libertad proyectual inalcanzable mediante métodos convencionales, haciendo énfasis en la definición formal curvilínea compleja y en las posibilidades reales que ofrece en el marco del pensar/hacer como binomio productivo.

Operación en el espacio físico: corte, sustracción, agregación

«The revolution is not additive versus subtractive manufacturing; it is the ability to turn data into things and things into data. That is what is coming; for some perspective, there is a close analogy with the history of computing» (Gershenfeld, 2012). La generación formal de información, independientemente de cuál sea el método empleado, se canaliza en bits que deben ser traducidos a átomos. Lo digital y lo físico se fusionan mediante una interfaz que responde a diversas lógicas materiales desarrolladas desde lo tecnológico. Esto se traduce en las técnicas de corte (láser, de agua, de plasma), sustracción (quita de material, tallado) o bien agregación

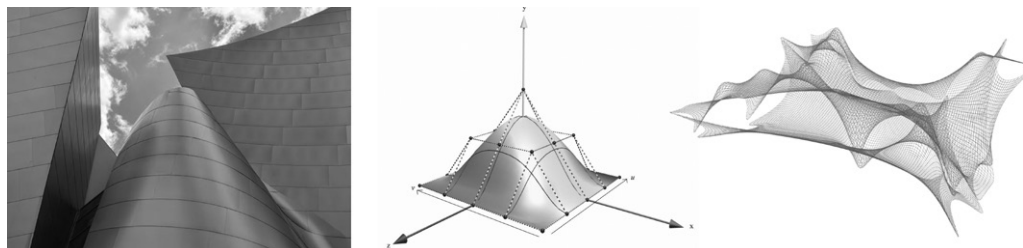


FIGURA 1 | CAD/CAM, Nurbs y Mallas. Izquierda, Walt Disney Concert Hall, de Frank Gehry. Centro, ejemplo de NURBS. Derecha, visualización de una malla. Fotografías cortesía de Ana María López.

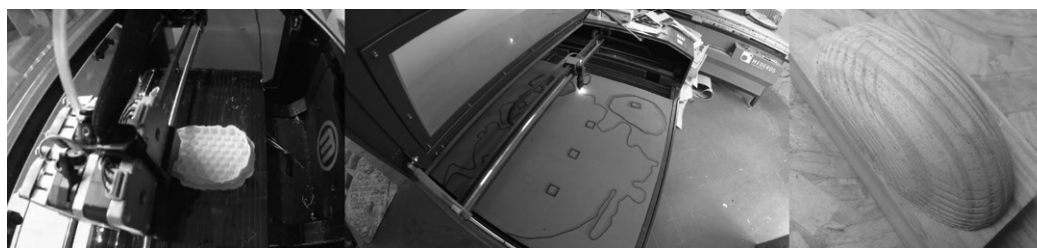


FIGURA 2 | Técnicas de operación en el espacio físico. Izquierda, impresión 3D. Centro, técnica de corte láser. Derecha, CNC. Fotografías del autor.

(material superpuesto ordenadamente, agregaciones puntuales, fusiones). (Fig. 2)

La técnica del corte es acaso la más parecida a un método convencional, pues es la descomposición del modelo tridimensional en planos y el corte de los mismos para su recomposición espacial mediante técnicas manuales y/o mecánicas. El corte puede llevarse a cabo con cualquiera de las técnicas de atravesamiento de un material, controlado por un equipo de precisión que responde al modelo de datos digitales.

El proceso de sustracción consiste en definir la forma del objeto mediante la quita de material de modo de obtener la forma buscada. Este se realiza en el espacio, mediante un fresado en tres o más ejes, dependiendo del equipo empleado. Por lo general, se trata de equipos de control numérico o CNC que, partiendo de un sistema de coordenadas en el espacio, definen con altísima precisión los puntos de retiro de material que finalmente determinan la forma buscada.

En el tercer proceso, que es el de agregación, destaca una característica que lo diferencia de los otros dos de modo conceptual: no parte de una pieza dada para modificarla sino que fabrica o produce espacialmente —traslada a átomos— el diseño en bits. Se trata de un proceso acumulativo por capas, mediante un extrusor que funde el material y un sistema de tres ejes

que lo posicionan. A este proceso se lo conoce comúnmente como impresión 3D.

Estrategias proyectuales: sección, modulación, pliegue, forma y contorno

A través de las formas de construcción digital y su trasposición física mediante las técnicas referidas, se presentan las estrategias proyectuales que sacan partido de la fabricación digital. Las posibilidades que esta ofrece son, resumidamente, seccionar, modular, plegar, contornear y formar. La combinación total o parcial de ellas es parte de la estrategia proyectual y de las nuevas posibilidades que se presentan al arquitecto.

La sección es, con creces, la estrategia más sencilla y más aplicada, dado que consiste en una solución de encastres entre planos no siempre ortogonales pero sí con una voluntad de generar costillas que en conjunto resumen la definición formal general. Es el caso de Metropoli Parasol en Sevilla, los diseños de Persian CNC, el Serpentine Gallery Pavilion de Londres. El estadio olímpico de Beijing, de Herzog & De Meuron y Ai Weiwei, también adopta esta estrategia.

La modulación como estrategia consiste en la fabricación de piezas iguales —o no— que se unen sin dejar espacios entre ellas. Como técnica no es nueva: se aplica desde la Roma antigua en la generación de mo-



FIGURA 3 | Estrategias proyectuales. Izquierda, Metropol Parasol en Sevilla. Centro, Capilla de SOM. Derecha, cúpula de Buckminster Fuller. Fotografías del autor. Imagen de Buckminster Fuller obtenida de archivo.



FIGURA 4 | Impresión, bioimpresión y optimización de recursos.

saicos o en los diseños de vitrales góticos. No obstante, la fabricación digital ha facilitado el pasaje del diseño vectorial a la producción física, con las simplificaciones que esto implica. Se pueden citar como ejemplos de esta estrategia algunas obras de Gramazio, o los pabellones de Andrés Martín Pastor. Las cúpulas geodésicas de Buckminster Fuller también fueron pensadas sobre la base de la modulación de hexágonos o triángulos, aunque con diferentes medidas, conformando igualmente una malla poliédrica. (Fig. 3)

El pliegue es el modo más intuitivo de producir un objeto tridimensional a partir de una superficie de dos dimensiones. Además de enriquecer formalmente el resultado del pliegue, se contribuye a generar una rigidez estructural necesaria. Esto se ha estudiado desde la determinación de patrones, desde el teselado, desde el estudio del origami, etc. El proyecto Mainfold de Andrew Kudless podría ejemplificar esta técnica. También la capilla de las Fuerzas Armadas de SOM de 1964.

Forma y contorno dependen esencialmente del instrumento utilizado, y el CNC es la opción más idónea para este caso. Consiste en escarbar, en horadar espacialmente el material hasta obtener la pieza buscada desde lo modelado. No necesariamente se obtienen piezas definidas. Muchas veces se pueden obtener moldes para generar otras piezas, o elementos auxiliares varios. Ejemplo claro es el interior del Elbphilharmonie con sus placas acústicas.

Robótica integrada

El paradigma de la fabricación digital permite el ensamble manual de piezas para lograr un resultado formal dado. Sin embargo, de modo incipiente comienzan a anexarse otras disciplinas, como la producción y programación de entidades electromecánicas vinculadas al proceso constructivo. Tal es el caso de brazos robóticos, sistemas inteligentes de control de procesos, o unidades programables mínimas (Arduino, BeagleBone, Raspberri Pi, etc.) con funcionalidades concretas, que producen pieles responsivas, regulaciones lumínicas, medidores de recursos, entre otros.

Asimismo, la utilización de drones programables para el posicionamiento de objetos constructivos brinda una nueva modalidad de integración con agentes mecánicos inteligentes. Experimentaciones en este campo son frecuentes en los trabajos de Gramazio y Kohler, pero quizá sea el área de acción aún menos explotada fuera de los centros de vanguardia debido a sus altos costos.

ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN

Terzidis (2003) reconoce dos conceptos interesantes que se ligan sin obstáculos e involucran la máquina o las tecnologías de la información como elementos del proceso proyectual. Por un lado, *computerization*, que refiere a la automatización, mecanización y digitalización de procesos manuales y electrónicos; y por

otro, *computation*, que hace referencia a una exploración indeterminada que prolonga el conocimiento pues vincula racionalización, lógica, algoritmo, deducción, inducción, extrapolación, exploración y estimación.

Desde esta mirada, se abre un nuevo espectro de enfoques que atienden a la vinculación de lo digital con lo físico. En este punto, y para evitar confusiones, corresponde hacer una puntualización: no son un par opuesto ni antinómico. Lo digital y lo físico son dos estados de la misma cosa. Siguiendo la definición que da a la palabra *computation*, lo digital y lo físico se vinculan como una prolongación de cada parte en la otra.

Los laboratorios de fabricación digital, que adoptan esta visión, han transmitido desde la experiencia casi simultánea del pensar y del hacer la noción de realidad de lo producido, generando conciencia sobre las posibilidades de las diferentes técnicas y estrategias pasibles de ser adoptadas.

Pero las implicancias de la fabricación digital pueden ser abordadas desde diferentes capas o enfoques que permiten una mayor aproximación al fenómeno y a sus vinculaciones con la práctica proyectual. Estas capas se intersectan, se superponen, se relacionan. En este trabajo se propone, solo a los efectos de organizar su estudio, una distinción entre tres capas: una dimensión ecológica, una tecnológica, y una social. Asimismo, las tres se exponen como un breve resumen de investigación en clave poética de la fabricación digital a nivel global aplicada a la generación de proyectos.

Corte ecológico – Producción y materiales – Optimización de recursos

La fabricación digital es, en su definición más simplificada, un proceso de producción de átomos a partir de bits. Pero esta definición lleva implícitas una serie de determinantes que hacen a su naturaleza y a su vinculación sistémica con el entorno. Uno de estos determinantes es la optimización de recursos y la producción de insumos en la medida de lo necesario de acuerdo con un fin dado. Esto es, la producción bajo demanda de soluciones que, lejos de generar los excedentes de la producción en masa, logra una consecución plena de los objetivos con los recursos justos. En general, la impresión 3D, como tecnología disruptiva, es la que porta el estandarte de las técnicas limpias y ecointegradas. Schwab (2016) la identifica como uno de los

puntos de inflexión de la cuarta revolución industrial y predice su aplicación a diversos campos, actualmente en experimentación: construcción arquitectónica, fabricación de prototipos, producción en gran escala, robótica, biotecnología, nanotecnología, etcétera.

Una peculiaridad de la impresión 3D es su integración con el entorno natural, en el sentido de procurar la utilización de nuevas materias primas procedentes de desechos industriales, bioplásticos derivados del almidón de maíz (PLA), filamentos de algas, o incluso células vivas en diversas formas. De este modo, no solo el aspecto cuantitativo de la producción es controlable sino también su impacto ambiental al poder tomar acción sobre materiales usualmente descartables para la industria tradicional. (Fig. 4)

Si bien no existen aún suficientes estudios sobre el impacto ambiental de la impresión 3D, los pocos que se han realizado coinciden en afirmar que este tipo de manufactura aditiva conlleva a una reducción drástica de las emisiones de gases de efecto invernadero, con lo cual el proceso productivo se torna más benévolo. Estudios como el Atkins Project de la Loughborough University en el Reino Unido agregan también que con la tecnología actual de impresión 3D, el consumo energético requerido para producir la misma pieza es cien veces superior en una impresora 3D que en la industria tradicional, con lo cual el valor de esta tecnología, a pesar de sus virtudes, no estaría al momento alcanzando un equilibrio de rentabilidad (Excell, 2010). No obstante, el crecimiento exponencial de la impresión 3D y su expansión a distintas áreas podrían revertir esto en el corto plazo, generando una ecuación más atractiva para la inversión y la apuesta por estos sistemas (Blanco, 2014). Asimismo, la ausencia de encofrados y piezas auxiliares, junto a la reutilización de residuos de impresión 3D como nuevo insumo son parte integral del proceso, al menos en la mayoría de los materiales empleados. De este modo, se contribuye también a la optimización de esta tecnología y a reducir su impacto ambiental.

Aunque las técnicas aditivas de fabricación digital se encuentran en una fase muy primaria en el campo de la arquitectura, comienzan a tener mayor aceptación desde la industria de la construcción, en campos experimentales pero también en grandes construcciones, sobre todo en China. En ese país, Winsum Firm cuenta

con el beneficio de normas muy flexibles a la hora de la experimentación y ejecución de la innovación. Al pertenecer puramente al mercado y no responder a un colectivo académico, no destina gran presupuesto a investigación pero sí a producción. Su técnica radica en la impresión 3D de hormigón, en todas sus formas, a través de brazo robótico in situ, de prefabricación de piezas y colocación en obra, o de impresión total en pieza única. Como muchas de las cosas que se producen en China, los proyectos impresos en 3D se hacen en gran escala, habiéndose logrado el récord de producción de diez viviendas en un día mediante esta técnica. Winsum posee en la actualidad varias decenas de patentes referidas a la impresión 3D, con lo que puede asegurarse un futuro de vanguardia en este campo, no solo dentro del mercado chino sino vendiéndolas o liberándolas a otras empresas a futuro.

Neri Oxman (2010), arquitecta e investigadora del MIT, es una de las mayores promotoras de la fabricación digital mediante técnicas agregativas de impresión 3D. Según ella, esta técnica constituye un camino hacia la disolución de los límites constructivos de la arquitectura, de acuerdo a algunos principios que enumera: crecimiento *versus* construcción; integración *versus* segregación; heterogeneidad *versus* homogeneidad; diferencia *versus* repetición, y sobre todo la búsqueda de la belleza más allá de la utilidad. A partir de la impresión 3D, promueve la composición de proyectos cuya organicidad les permita cambiar, mutar, ¿vivir? La técnica referida permite la fabricación por agregación de prácticamente cualquier material, incluyendo células vivas. Si bien Oxman no ha participado todavía de proyectos de gran escala y sí en prototipos y piezas de menor porte, destaca entre su obra el Silk Pavilion como ejemplo de puesta en práctica de su búsqueda teórica constante.

Corte tecnológico – Replicación de máquinas – Integración – Poshumanismo

Una de las cualidades más destacables de la fabricación digital es su estructura productiva autorreplicante. Esto es, la condición de producir máquinas idénticas o incluso mejoradas a partir de máquinas previamente existentes. Tanto las impresoras 3D como las máquinas de corte láser o plasma pueden ser utilizadas para producir nuevos equipos, con lo cual en un laboratorio con las capacidades necesarias, la gran inversión está com-

puesta por el primer equipo, y a partir de este, se pueden replicar versiones iguales o con eventuales mejoras. El proyecto RepRap,¹ que puede ser realimentado a través de su propia wiki, es un ejemplo claro de esto.

La faceta más tecnológica de la fabricación digital interpela sobre el rol de la integración de la tecnología no ya con el proceso mismo de producción sino con la vida cotidiana de sus usuarios. De este modo, la Internet de las Cosas ha permitido la generación del *wearable computing* y este, en su aplicación a nivel de nano y biotecnologías, la integración hombre-máquina. Esta visión, linderada con el enfoque poshumanista y transhumanista, se encuentra en una fase evolutiva cuyos resultados son a la vez prometedores e inciertos, como sugieren diversos autores (Harari, 2015; Ferry, 2016). (Fig. 5)

En el campo explícito de la generación de proyectos y exploración arquitectural, los centros de producción, experimentación y difusión de la fabricación digital se encuentran fundamentalmente en las universidades de vanguardia de los Estados Unidos, Suiza, y Alemania. En tal sentido, Fabio Gramazio define su trabajo:

«In our research we examine the changes in architectural production requirements that result from introducing digital manufacturing techniques. Our special interest lies in combining data and material and the resulting implications this has on the architectural design. The possibility of directly fabricating building components described on the computer expands not only the spectrum of possibilities for construction, but, by the direct implementation of material and production logic into the design process, it establishes a unique architectural expression and a new aesthetic». (2017)

Con esta consigna, la investigación proyectual de Gramazio y Kohler no se restringe a la impresión 3D como camino exploratorio sino que busca incorporar las técnicas de agregación en todo su potencial, empleando brazos robóticos para el posicionamiento exacto de piezas y drones con el mismo fin.

«Our research focuses on additive digital fabrication techniques used for building non-standardized architectural components. Simply put, additive fabrication can be described as a three-dimensio-

1. Por más información, visitar <http://reppap.org>
2. <http://www.fabfoundation.org>
3. <http://medialab-prado.es>



FIGURA 5 | Tecnologías aplicadas integradas al proyecto.

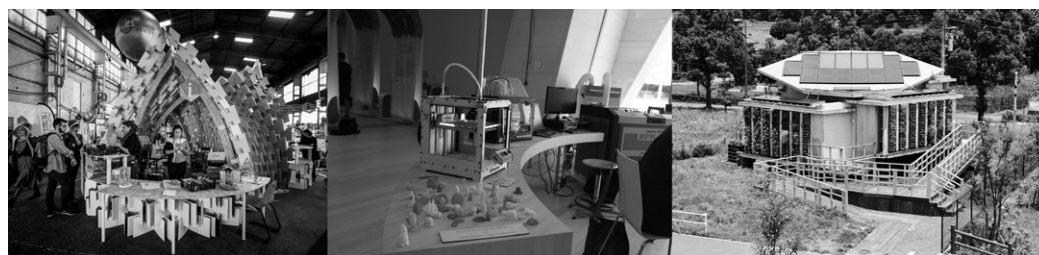


FIGURA 6 | Open source, laboratorios móviles y experiencias de proyecto.

nal printing process. By positioning material precisely where it is required, we are able to interweave functional and aesthetic qualities into a structure. We can thus "inform" architecture through to the level of material. Our aim is to develop criteria for a new system of structural logic which can be applied to architecture and that is intrinsic to digital fabrication. We started with modules such as bricks as a basic material and are now expanding the spectrum to include fluid materials.» (Gramazio, 2017)

A través del NCCR Digital Fabrication, que tiene su inicio en el año 2014, las iniciativas orientadas a la fabricación digital en todo el territorio suizo han conseguido un posicionamiento estratégico de cara a la implementación y puesta en práctica de las investigaciones realizadas en el tema. Como emprendimiento multidisciplinar, combina en los arquitectos el perfil de diseñador, de programador y de constructor de objetos, de edificios, de máquinas y de códigos que programan máquinas.

Corte social – Producción libre – Código abierto – Laboratorios móviles – Empoderamiento ciudadano

La filosofía del open source o código abierto impregna también la aplicación de la fabricación digital. Allen- de su origen en el mundo del software, el pensamiento

de código abierto se ha extendido hacia otras áreas del conocimiento, entre ellas el diseño, en todas sus vertientes (Jabi, 2013). (Fig. 6)

La posibilidad de acceder a los códigos fuente detrás de objetos espaciales digitalmente creados, modificarlos, perfeccionarlos y volver a ponerlos a disposición de la comunidad contribuyó en buena medida a la proliferación de laboratorios de libre participación ciudadana, y también ha nutrido la filosofía detrás de la red Fab Lab.² Entre estas iniciativas, muchas veces auspiciadas por ONGs, universidades o centros de investigación, se ha buscado acercar la fabricación digital a la gente, mediante cursos, capacitaciones y demás impulsos orientados al empoderamiento ciudadano a través del conocimiento tecnológico. A su vez, el escaso coste de algunas tecnologías en uso, y la posibilidad de autorreproducción referida en el apartado previo, hacen de estas prácticas una opción interesante y a la vez motivadora para la sociedad. En este punto se recomienda visualizar los trabajos llevados adelante por el Media Lab Prado, dependiente del Ayuntamiento de Madrid.³

En el campo de proyecto, si bien existen numerosos trabajos en curso, es pertinente destacar el de Yasushi Ikeda, en Japón, adscrito a la filosofía de código abierto. Ikeda, uno de los pioneros en Japón en la aplicación de las tecnologías de la información a la práctica archi-

tectónica desde sus tiempos en el estudio de Maki, ha avanzado en temas referidos a la integración tecnológica en la práctica proyectual desde su rol de investigador en la Universidad Keio, haciendo hincapié en la sustentabilidad y las técnicas digitales integradas de producción. Quizá el mejor ejemplo de su trabajo en este campo es la Co-Evolution House de 2014. Se trata de un proyecto realizado íntegramente desde lo digital, con tecnología BIM, y luego construido mediante fabricación digital por técnicas de corte y agregación. Se trata de un proyecto universitario ubicado en el Shonan Fujisawa Campus, que emplea automatismos, y es auto suficiente energéticamente, mediante paneles fotovoltaicos capaces de cubrir la demanda energética. Todo el proyecto fue ejecutado por estudiantes, y cada pieza fue producida también por ellos. A diferencia de las políticas de patentes, es intención de este proyecto convertirse en un elemento pasible de ser colectivizado, compartido, modificado y eventualmente también mejorado. A través de la liberación de su diseño, y de su esencia digital, devendrá próximamente en un proyecto open source y podrá ser intervenido a futuro por otros estudiantes y/o profesionales. Volviendo sobre la definición de Terzidis de *computation*, también en este caso la exploración aportada a través de la máquina construye una prolongación del conocimiento que hace a la teoría y a la práctica del mismo modo que abre horizontes para nuevas formas de pensar y de concebir la arquitectura.

La red de laboratorios de fabricación digital que opera en universidades, estudios profesionales y asociaciones independientes, colabora entre sí en forma más o menos intensa, por asociaciones geográficas, definición de intereses comunes, y posibilidades económicas asociadas a cada centro. Existe en toda la red una apuesta clara por la innovación en los países centrales a través de los trabajos comentados más arriba como ejemplos, y una apuesta marginal y más dependiente de fondos concursables internacionales para los centros de países periféricos. Tal es el caso del contexto latinoamericano.

El escenario latinoamericano – Poiesis – Teoría – Adaptación

Sperling (2015), Herrera y Scheeren han iniciado el primer camino de mapeo de actividades de fabricación

digital en Latinoamérica, desde la Universidad de San Pablo, de cara al congreso CaadFutures que se realizó en 2015 en esa Universidad. Los datos de partida se obtuvieron en 2014 y responden al estado de situación de la fabricación digital en ese año. Pero, si bien los datos que sustentaron el análisis necesariamente han variado, nada indica que lo hayan hecho en modo significativo, o al menos puede decirse que los problemas de fondo constatados en 2014 persisten.

«Even though the creative inspiration of digital fabrication lab's in our region is effervescent, the scenario is very different from other places in North Hemisphere. The MIT Fab Lab's network installed in South America is an indicative of present challenges in local context. According to Benito Juárez — coordinator of Fab Lab Lima and of the South America MIT Fab Lab's network— currently the network has more than 250 laboratories around the world with an exponential growth in recent years. Despite they present itself as an inclusive project, 75% of Fab Labs are located in developed countries (40% in Europe and 35% in USA) and 25% in developing countries, with only 5% in Latin America. Juárez points out that some cultural factors cause that the concept of "technological democratization" — conceived in developed nations — differs from the reality in our region.» (Sperling, 2015)

Más allá del 5% de Fab Labs localizado en Latinoamérica conforme a la investigación de Sperling, corresponde aclarar que esto se remite únicamente a la red Fab Lab del MIT, que lejos está de ser la totalidad o la mayor parte de los laboratorios de fabricación digital instalados en el continente. Por el contrario, y dadas las erogaciones que el mantenimiento de un Fab Lab de la red del MIT implica, muchas universidades y centros de investigación han optado por desarrollarse al margen de la red. A veces este apartamiento responde únicamente a motivaciones económicas y otras además a motivaciones de orden filosófico. (Fig. 7)

La utilización de los laboratorios latinoamericanos es también muy dispar, algo que se pone en evidencia en la heterogeneidad de las tecnologías empleadas. Aunque no existen relevamientos actualizados aun sobre

4. Rodrigo Scheeren se encuentra realizando esta indagación en la Universidad de San Pablo, en su estudio «Centros de investigação e pesquisa em arquitetura e fabricação digital na América do Sul: estratégias de ação e o estado da arte da produção». Al momento de publicación de este artículo, los resultados obtenidos no son de conocimiento público.



FIGURA 7 | Estructuras de la serie «Bichos» de Daniela Frogheri y su equipo. FabLab de Monterrey.

las capacidades reales de cada laboratorio,⁴ las diferencias se ponen de manifiesto en la visualización de los trabajos realizados, que anualmente se presentan en congresos, workshops y conferencias destinadas al tema. De hecho, la red de nodos de fabricación digital en Latinoamérica, además de trabajar colaborativamente entre algunos de sus miembros, participa de instancias de socialización del trabajo realizado, que son los congresos anuales.

Estos congresos conforman el mejor testimonio del trabajo realizado, y son en sí el mejor modo de rastrear las actividades de cada nodo de fabricación digital en el continente. A falta de una plataforma específica (como podrían ser el congreso FABRICATE en Alemania, o el ROB/ARCH en Suiza), el rastreo de trabajos de los centros latinoamericanos debe hacerse en los proceedings de SiGraDi, y yendo a otros campos más lejanos de difusión —distantes además por el idioma— a los proceedings de eCAADe, ACADIA, CAADRIA y CaadFutures. Por supuesto, con una participación menor debido a las dificultades que ofrece el proceso de revisión en otro idioma, y la competitividad necesaria para equiparar el nivel con los trabajos desarrollados en los centros de vanguardia.

Indexación y repositorios mediante, no es un escollo insalvable mapear hoy la incidencia de las investigaciones y aplicaciones realizadas por los centros de fabricación digital latinoamericanos en el universo de las publicaciones académicas. No obstante, se dificulta mucho más el mapeo de las intenciones de cada centro, a la luz de una descoordinación estructural, producto de ser una disciplina incipiente, que —quizá porque no ha sido internalizada todavía o porque requiere una inversión importante en recursos humanos y materiales— no ha logrado aún un lugar definido en la formación curricular a nivel general.

De todos modos, más allá de las dificultades apreciadas, la incidencia de la fabricación digital en Latinoamérica es perceptible en realizaciones concretas, quizá aún no tan acabadas como algunas de las comentadas más arriba, pero con una impronta local que revela que las posibilidades técnicas —aunque sean reducidas— pueden ser también aprovechables y obtener de ellas un importante rédito. Tal es el caso de los pabellones realizados por Andrés Martín Pastor en Colombia, Chile, Argentina y Uruguay; los trabajos de Mauro Chiarella en torno a la práctica de la cultura maker, o las experiencias del Fab Lab Lima, en Perú, o las estructuras «Bichos» de Daniela Frogheri en Monterrey, donde se conjugan elementos de corte tecnológico y de código abierto en soluciones de arquitecturas a un tiempo efímeras e innovadoras, por citar algunos ejemplos.

Más cercanamente, se pueden referir las experiencias que involucran al Laboratorio de Fabricación Digital MVD con la producción del remate del edificio de Trambauer en Ciudad Vieja, la cúpula iluminada del Palacio Salvo, o la realización del Dieste Pavilion, llevados adelante en diferentes marcos formales pero bajo la consigna de la experimentación, implementación, y difusión de este paradigma. Este tipo de experiencias locales serán continuadas y sostenidas en el tiempo a través del Diploma en Diseño Paramétrico y Fabricación Digital comentado más arriba, y de ellas se continuará obteniendo conclusiones desde lo empírico que —se espera— contribuirán a una comprensión más general y acabada del tema.



FIGURA 8 | Experiencias de fabricación digital en Uruguay: Proyectos Gran Salvo y Adaptation, de Federico Lagomarsino y Dieste Pavillon de Andrés Martín–Pastor. LabFab.MVD. UdelaR.

CONCLUSIÓN. POSIBLES VERSIONES: ESCENARIOS E INTERROGANTES

Del estado actual de la fabricación digital a nivel mundial, tanto como del grado de involucramiento en la misma por parte de los centros y universidades latinoamericanas, pueden extraerse algunas interrogantes que interpelan sobre el modo de accionar y de comprender la acción proyectual a través de las nuevas tecnologías. (Fig. 8)

La fabricación digital promueve interrogantes y construye problemas, que abordan la materialidad, la morfología, las estrategias proyectuales, y la esencia misma del proyecto de arquitectura. Lejos de la concepción proyectual de Alberti, según la cual el proyecto es la acción prioritaria del arquitecto, y la obra construida constituye solo una copia (Ortega, 2013), la fabricación digital propone una unificación entre el acto de proyectar y la acción productiva.

Desde el modelo de Alberti, ha mediado entre el arquitecto y la obra la necesidad de un sistema de representación. No obstante, la digitalización como tendencia general e irreversible, al ser aplicada a la fabricación, constituye una nueva forma de concebir el proyecto desde la dinámica del pasaje de átomos a bits. En ella se encuentran implícitas las condicionantes propias de la técnica, que inciden en la definición espacial, morfológica y material del proyecto.

Cabe pues una serie de interrogantes de cara a la construcción de esta instancia de investigación como problema y como punto de partida para un enfoque formal desde la academia.

¿Cuál debe ser el rol del arquitecto con relación a las tecnologías de fabricación digital?

¿Cómo impactan estas en la concepción del diseño? ¿Deben los proyectos pensarse a partir de lo material (átomos) y lo digital (bits) de forma integral? ¿O, por el contrario, continuar siendo materia diferenciada de estudio, permitiendo una especialización en cada área?

Dadas las condicionantes económicas propias del contexto latinoamericano, ¿es posible superar la brecha tecnológica con los países centrales a nivel de praxis e investigación? ¿Cómo puede consolidarse la técnica y su comprensión por parte de la academia para ser aceptada por la sociedad?

Los escenarios que se presentan a futuro son múltiples. La construcción los mismos dependerá de la resolución y respuesta a estos interrogantes, y por supuesto, de la formulación de nuevas preguntas que interpielen sobre la incidencia en el proceso proyectual de las tecnologías de creación y transformación de bits en átomos. ■



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHERMAYEFF, S. y ALEXANDER, C. (1963):** *Community and privacy: Toward a new architecture of humanism*. New York: Double-day.
- CHIARELLA, M. (2009):** *Unfolding architecture. Laboratorio de representación e ideación*. Tesis doctoral. UPC.
- CHRISTENSEN, C.; HORN, M.; JOHNSON, C. (2008):** *Disrupting class: How disruptive innovation will change the way the world learns*. New York: McGraw Hill.
- FERRY, L. (2016):** *La revolución transhumanista*. Madrid: Alianza.
- FLUSSER, V. (1999):** *The Factory in The Shape of Things*. London: Reaktion Books.
- HARARI, J.N. (2015):** *Homo Deus. Breve historia del mañana*. Madrid: Debate.
- IWAMOTO, L. (2009):** *Digital Fabrications. Architectural and Material techniques*. Princeton: Princeton Architectural Press.
- JABI, W. (2013):** *Parametric Design for Architecture*. London: King Lawrence Publishing.
- KOLAREVIC, B. (2003):** *Architecture in the Digital age: Design and Manufacturing*. Spon Press.
- KURZWEIL, R. (2005):** *The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Penguin.
- (1999): *La era de las máquinas espirituales*. Madrid: Planeta.
- MANOVICH, L. (2008):** «Software takes command.» Disponible en <http://softwarestudies.com/softbook> (fecha de consulta: 04/06/2017).
- ORTEGA, L. (2013):** *Digitalization takes command*. Tesis doctoral. UPC.
- OXMAN, N. (2010):** *Material-based Design Computation*. Ph.D. thesis. MIT.
- PASK, G. (1969):** «The Architectural relevance of Cybernetics.» *Architectural Design*, (sept.).
- SCHWAB, K. (2016):** *La Cuarta Revolución Industrial*. Madrid: Debate.
- SCHUMACHER, P. (2008):** *Parametricism Manifesto*. Venecia: Venice Biennale.
- SPELRLING, D. (2015):** «Migratory Movements of Homo Faber: Mapping Fab Labs in Latin America.» *CaadFutures 2015*, (Springer).
- TAPIA MARÍN, C. (2015):** Arquitectura, posthumanismo y vida técnicamente extendida. Pensamiento homeotécnico. Por una ética de las relaciones no hostiles y no dominadoras. *Recolectores Urbanos*, Sevilla.
- TERZIDIS, K. (2003):** *Expressive form*. London: Spon Press.
- VAN HOLM, E.J. (2015):** «What are Makerspaces, Hackerspaces, and Fab Labs?» Disponible en <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2548211> (fecha de consulta: 09/06/2017).
- Sitios web**
- BLANCO, A. (2014):** Una revisión al impacto ambiental de la impresión 3D. <http://impresiontresde.com/una-nueva-revision-al-impacto-ambiental-de-la-impresion-3d/> (fecha de consulta: 09/10/2017).
- EXCELL, J. (2010):** The Atkins Project. <https://www.theengineer.co.uk/issues/awards-2010/the-atkins-project/> (fecha de consulta: 06/10/2017).
- GRAMAZIO, F. (2017):** About Gramazio-Kohler Research. <http://www.gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/e/about/index.html> (fecha de consulta: 09/10/2017).