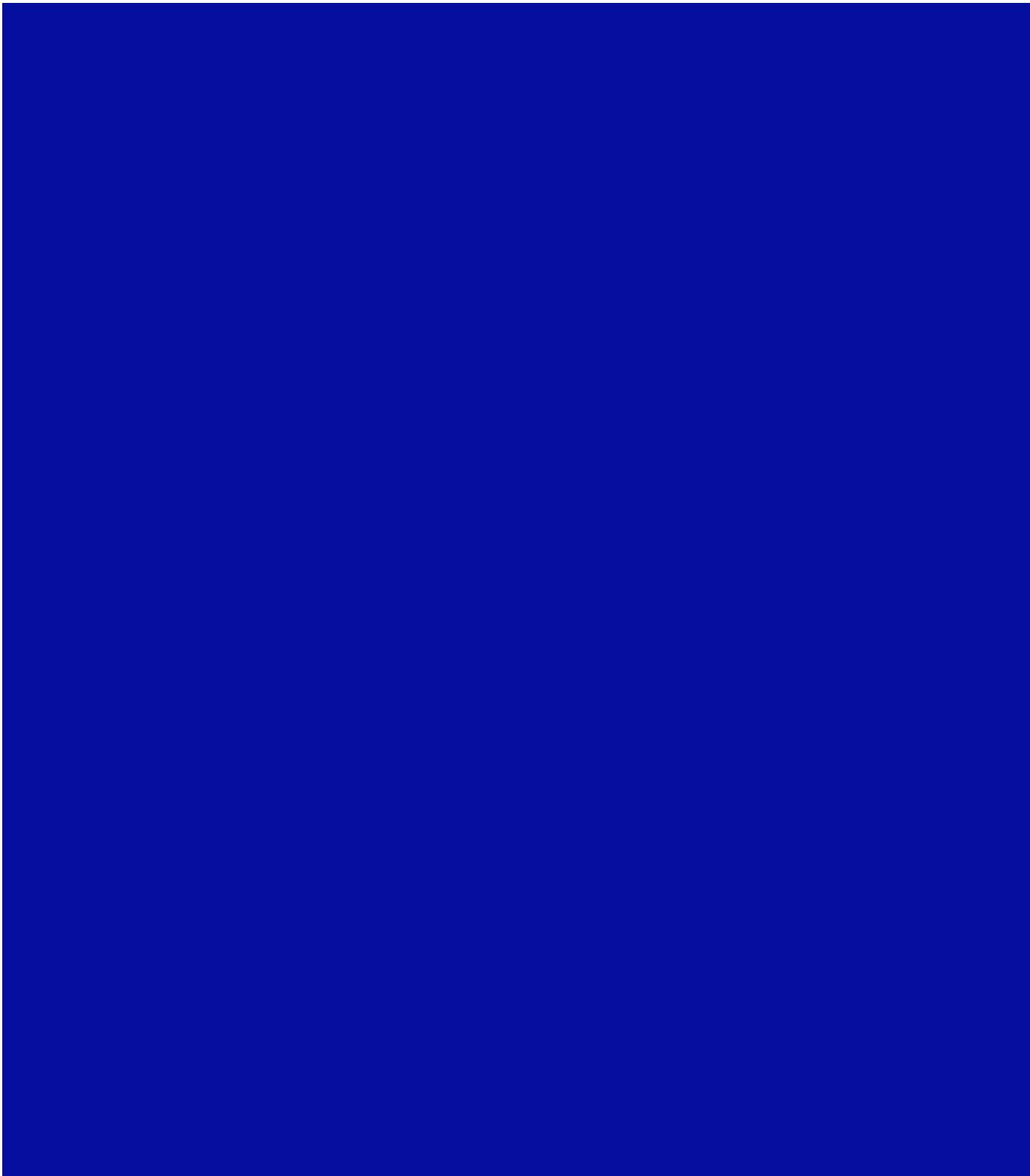


átomos y bits
una reflexión sobre la
generación del proyecto
en los albores de la cuarta
revolución industrial

FERNANDO GARCÍA AMEN



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 Klaus Schwab denomina «la cuarta revolución industrial» (Schwab, 2016). 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 este, 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 Serge Chermayeff y Christopher Alexander concibieron 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» (Chermaneff y Alexander, 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; por el contrario, se nutre de esto.

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 Massachusetts Institute of Technology (MIT), y su génesis se estima en 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. No obstante ello, no son hoy la única fuente. Aunque se trata de una disciplina todavía incipiente en la industria, las universidades a nivel global, y específicamente por medio 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*; existen algunas pocas, aunque marcadas, diferencias de enfoque entre los tres tipos de laboratorios (Van Holm, 2015).

Esta red, que en muchos casos comienza a crecer sin un plan coordinado 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 define, no sin cierta poética, este crecimiento como «the migratory movement of *Homo faber*» (Sperling, 2015). 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 palabras, 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 a través de 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 mediante la formulación de interrogantes que, a lo largo del desarrollo del proceso de tesis, se buscará responder.

El trabajo 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 tecnologías de la información y la comunicación (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, en la que la autoridad deja de pertenecer al primero para conformar una relación recíproca (Pask, 1969). Esta relación de reciprocidad que se produce por medio 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 intencionadamente para coincidir con el surgimiento del Center for Bits and Atoms del MIT, que da inicio al primer *fab lab*.

Se denominará pues *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, forjando una red de intercambio que se torna cada día más activa y canaliza las investigaciones sobre el tema.

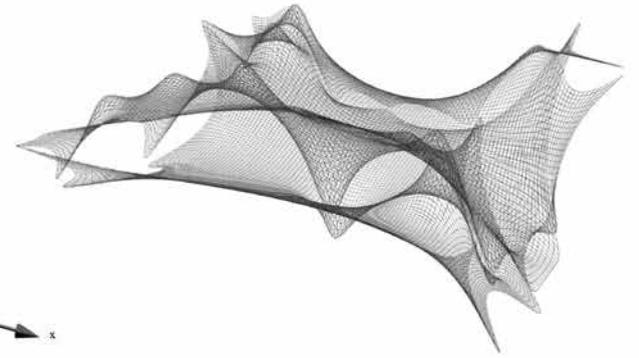
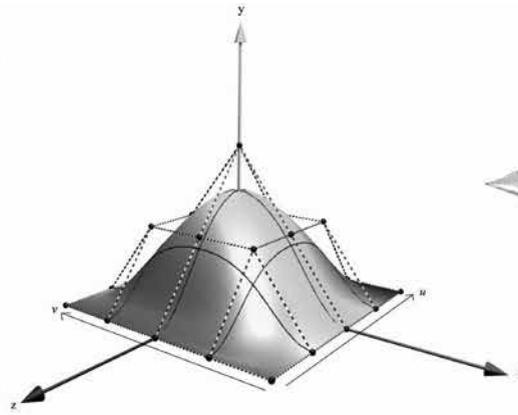
«Making becomes knowledge or intelligence creation. In this way thinking and doing, design and fabrication, and prototype and final design become blurred, interactive, and part of a non-linear means of innovation» (Speaks, 2002). La fabricación digital, que tiene entre sus sustentos conceptuales la filosofía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

Asimismo, la revolución que implica la fabricación digital toma distancia de la adopción del CAD, que ha sido en los últimos cincuenta 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 que 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 lo expresa 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» (Iwamoto, 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.

FIGURA 1.
CAD/CAM, NURBS
y mallas.



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.

La tecnología CAD permite entonces una aproximación al CAM que redundará 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 mediante 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 generación de geometrías complejas a partir de elementos simples, con lo que brinda 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 método 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 por medio de los métodos descritos 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 (material superpuesto ordenadamente, agregaciones puntuales, fusiones).

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 estos 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 proceso se lleva a cabo 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, el de agregación, se destaca una característica que lo diferencia de los otros dos desde una perspectiva 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

Por medio de las formas de construcción digital y su transposición 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 le presentan al arquitecto.

La sección es, con creces, la estrategia más sencilla y más aplicada, dado que consiste en una solución de encastrés 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 Metropól Parasol en Sevilla, de los diseños de Persian CNC, del 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 mosaicos, así como en los diseños de vitales góticos. No obstante, la fabricación digital ha facilitado el pasaje del diseño vectorial a la producción física, con las simplificaciones que esto implica. Se puede citar como ejemplos de esta estrategia algunas obras de Fabio Gramazio, o los pabellones de Andrés Martín Pastor. Las cúpulas geodésicas de Richard Buckminster



Füller también fueron pensadas en base a modulación de hexágonos o triángulos, aunque con diferentes medidas, conformando asimismo una malla poliédrica.

El pliegue es acaso 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 la rigidez estructural necesaria. Esto se ha estudiado desde la determinación de patrones, desde el teselado, desde el estudio del *origami*, etcétera. 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. Un ejemplo claro de esto 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 aún 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, etcétera) con funcionalidades concretas, que producen pieles responsivas, regulaciones lumínicas, medidores de recursos, etcétera.

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, por sus altos costos.

Estado de la investigación

Kostas Terzidis reconoce dos conceptos interesantes que se ligan sin obstáculos involucrando 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; 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 (Terzidis, 2003).

Bajo 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 el autor 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, adoptando esta visión, han transmitido desde la experiencia casi simultánea



del pensar y del hacer la noción de realidad de lo producido, generando asimismo 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, sólo 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.

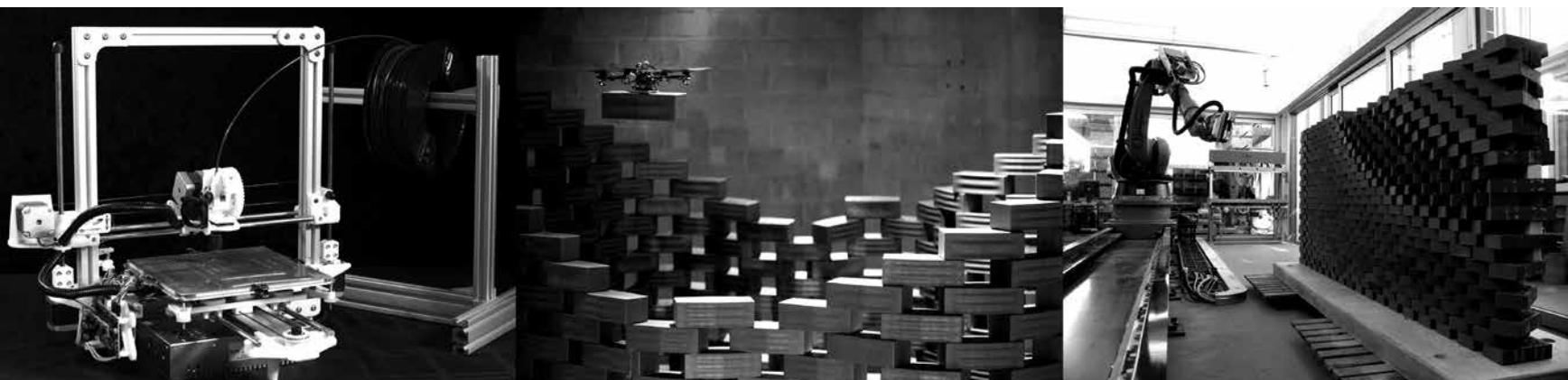
Corte ecológico - Producción y materiales - Optimización de recursos

La fabricación digital es, en su definición más simplificada, un proceso de producción de átomos a partir de bits. Pero esta definición lleva implícita una serie de determinantes que hacen a su naturaleza y a su vinculación sistémica con el entorno. Una de estas determinantes es la optimización de recursos y la producción de insumos, en la medida de lo necesario, de acuerdo con un fin dado. Es decir, la producción bajo demanda de soluciones que, lejos de generar los excedentes de la producción en masa, logran 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 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 (Schwab, 2016).

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, e incluso células vivas en diversas formas. De este modo, no sólo 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.

Si bien no existe aún un número suficiente de estudios sobre el impacto ambiental de la impresión 3D, los pocos que se han hecho coinciden en afirmar que este tipo de manufactura aditiva conlleva una reducción drástica de las emisiones de gases de efecto invernadero, con lo que el proceso productivo se torna más benévolo. Estudios como el *Atkins Project*, de la Loughborough University, en 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 con 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. En sí, 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: mediante un brazo robótico *in situ*, la prefabricación de piezas y colocación en obra, o la impresión total en una pieza única. Como muchas de las cosas que se producen en China, los proyectos impresos en 3D se hacen en gran escala: se logró 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 sólo dentro del mercado chino, sino vendiéndolas o liberándolas a otras empresas a futuro.

Neri Oxman, arquitecta e investigadora del MIT, es una de las mayores promotoras de la fabricación digital mediante técnicas agregativas de impresión 3D. Sostiene que esta técnica constituye un camino hacia la disolución de los límites constructivos de la arquitectura, de acuerdo con algunos principios que enumera: crecimiento vs construcción;

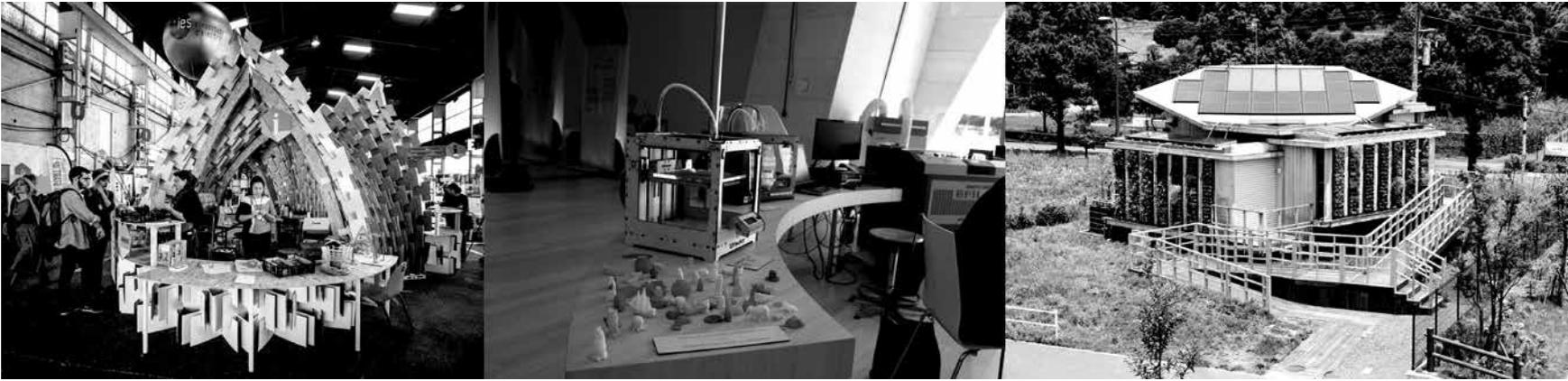
integración vs segregación; heterogeneidad vs homogeneidad; diferencia vs repetición; y, sobre todo, la búsqueda de la belleza más allá de la utilidad (Oxman, 2010). A partir de la impresión 3D, promueve la composición de proyectos cuya organicidad les permita cambiar, mutar, ¿vivir? La técnica referida permite la fabricación por agregación de prácticamente cualquier material, incluyendo células vivas. Si bien Oxman no ha participado aún en proyectos de gran escala y sí en prototipos y piezas de menor porte, se destaca entre su obra el *Silk Pavilion* como ejemplo de puesta en práctica de su búsqueda teórica constante.

Corte tecnológico - Replicación de máquinas - Integración - Posthumanismo

Una de las características más resaltables de la fabricación digital es su cualidad de estructura productiva autorreplanteante, es decir, 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 compuesta por el primer equipo, a partir del cual 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,

1. Por más información, visitar <http://reprap.org>



la integración hombre-máquina. Esta visión, linderada con el enfoque posthumanista 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).

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 Estados Unidos, Suiza y Alemania.

En tal sentido, 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 (Gramazio, 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-dimensional 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).

Por medio del *nCCR Digital Fabrication*, que tiene su inicio en 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. Allende 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).

La posibilidad de acceder a los códigos fuente detrás de objetos espaciales digitalmente creados, modificarlos,

FIGURA 7.
Estructuras de la serie
Bichos, de Daniela
Froggeri y su equipo,
Fab lab de Monterrey.



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 oenegés, 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 por medio del conocimiento tecnológico.

A su vez, el escaso coste de algunas tecnologías en uso, y la posibilidad de autorreplicación 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, adscripto 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 arquitectónica 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 autosuficiente energéticamente,

mediante paneles fotovoltaicos capaces de cubrir la demanda energética.

Todo el proyecto fue ejecutado por estudiantes, y cada pieza fue producida 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 mejorado. Mediante 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 permite una colaboración entre sus integrantes 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 por medio 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

David Sperling, junto con Pablo Herrera y Rodrigo Scheeren, iniciaron el primer camino de mapeo de actividades de

2. <http://www.fabfoundation.org>

3. <http://medialab-prado.es>



fabricación digital en Latinoamérica, desde la Universidad de San Pablo, de cara al congreso *CaadFutures*, que se llevó a cabo 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 momento. No obstante, si bien los datos que sustentaron el análisis necesariamente han variado, nada indica que lo hayan hecho en modo significativo.

Al menos, puede decirse que los problemas de fondo constatados en 2014 continúan persistiendo.

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 región (Sperling, 2015).

Más allá del 5 % de *fab labs* localizado en Latinoamérica, de acuerdo con 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 la erogaciones que implica el mantenimiento de un *fab lab* de la red del MIT, 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.

La utilización de los laboratorios latinoamericanos es también muy dispar, algo que se pone en evidencia en la heterogeneidad de las tecnologías empleadas. Si bien aún no existen relevamientos actualizados de 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 dedicadas al tema. De hecho, la red de nodos de fabricación digital en Latinoamérica, además de trabajar colaborativamente entre algunos de sus miembros, participa en 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 que se trata de 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 es posible 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 la Ciudad Vieja, la cúpula iluminada del Palacio Salvo y 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 mediante el 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.

Conclusión. Posibles versiones: escenarios e interrogantes

Del estado actual de la fabricación digital a nivel mundial, tanto como del grado de involucramiento por parte de los centros y universidades latinoamericanas, pueden

extraerse algunos interrogantes que interpelan sobre el modo de accionar y de comprender la acción proyectual por medio de las nuevas tecnologías.

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 sólo 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 puntos de partida para un enfoque formal desde la academia.

¿Cuál debe ser el rol del arquitecto en relación con 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 pueden consolidarse la técnica y su comprensión por parte de la academia para que sea aceptada por la sociedad?

Los escenarios que se presentan a futuro son múltiples. Su construcción 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.

-
- 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 aún de conocimiento público.

- CHERMAYEFF, S. y ALEXANDER, C. (1963). *Community and privacy: Toward a new architecture of humanism*. New York: Doubleday.
- CHIARELLA, M. (2009). *Unfolding architecture. Laboratorio de representación e ideación*. Tesis doctoral, UPC.
- CHRISTENSEN, C., HORN, M. y 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*. Londres: Reaktion.
- HARARI, J. N. (2015). *Homo Deus. Breve historia del mañana*. Madrid: Debate.
- IWAMOTO, L. (2009). *Digital Fabrications. Architectural and Material Techniques*. Princeton Architectural Press.
- JABI, W. (2013). *Parametric Design for Architecture*. London: King Lawrence.
- KOLAREVIC, B. (2003). *Architecture in the Digital age: Design and Manufacturing*. Spon.
- KURZWEIL, R. (2005). *The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology*. Nueva York: Penguin.
- KURZWEIL, R. (1999). *La era de las máquinas espirituales*. Madrid: Planeta.
- MANOVICH, L. (2008). *Software Takes Command*. Disponible en la web.
- ORTEGA, L. (2013). *Digitalization Takes Command*. Tesis doctoral, UPC.
- OXMAN, N. (2010). *Material-based Design Computation*. Tesis doctoral, MIT.
- PASK, G. (1969). *The Architectural Relevance of Cybernetics*. En: *Architectural Design*, setiembre 1969.
- SCHWAB, K. (2016). *La Cuarta Revolución Industrial*. Madrid: Debate.
- SCHUMACHER, P. (2008). *Parametricism Manifiesto Venecia*. Bial de Venecia.
- SPERLING, D. (2015). *Migratory Movements of Homo Faber: Mapping Fab Labs in Latin America*. CaadFutures 2015. Springer.
- TAPIA MARTÍN, C. (2015). «Arquitectura, posthumanismo y vida técnicamente extendida». En: *Pensamiento homeotécnico. Por una ética de las relaciones no hostiles y no dominadoras*. Sevilla: Recolectores Urbanos.
- TERZIDIS, K. (2003). *Expressive Form*. Londres: Spon.
- VAN HOLM, E. J. (2015). *What are Makerspaces, Hackerspaces, and Fab Labs?* Disponible en la web.

SITIOS WEB

- BLANCO, A. (2014). *Una revisión al impacto ambiental de la impresión*.
- EXCELL, J. (2010). *The Atkins Project*.
- GRAMAZIO, F. (2017). *About Gramazio-Kohler*.