

# 03

De la mecánica a la Materialidad Digital.

Giros paradigmáticos en los procesos de ideación arquitectónica

ALGORITMOS  
DISEÑO PARAMÉTRICO  
FABRICACIÓN DIGITAL  
PROYECTO  
ARQUITECTÓNICO  
VARIABILIDAD DIGITAL

La adopción y la adaptación de las herramientas digitales en arquitectura han configurado un intenso proceso de asimilación de sus lógicas propias. El giro digital en arquitectura podría entenderse como aquel que sustituye la arquitectura de la industrialización por la de la información pero, sobre todo, aquella que pasa de pensarse en términos mecánicos a hacerlo en términos digitales y algorítmicos. Los efectos de la digitalización en la arquitectura, como proceso histórico disciplinar, son caracterizados en dos etapas previas, como dos giros de lo digital en arquitectura en el desarrollo que va de la mecánica a la Materialidad Digital. El presente artículo se propone avanzar en precisiones conceptuales a partir de la selección y el análisis de textos enfocados en la comprensión y explicación de un proceso complejo cuya gestación lleva ya varias décadas, Materialidad Digital como estadio actual de asimilación de las lógicas digitales en los procesos de ideación arquitectónica.

#### ***From mechanics to Digital Materiality***

#### ***Paradigmatic turns in the design process in architecture***

*The adoption and adaptation of digital tools in architecture have configured an intense process of assimilation of their own logic. The digital turn in architecture could be understood as the one that replaces the architecture of industrialization with the architecture of information, but, and, above all, the one that goes from thinking in mechanical terms to doing it in algorithmic and digital terms. The effects of digitization on architecture, as a historical disciplinary process, are characterized in two previous stages, as two turns of the digital in architecture in the process that goes from mechanics to Digital Materiality. The present article intends to advance in conceptual precisions from the selection and analysis of texts focused on the understanding and explanation of a complex process whose gestation has been going on for several decades, Digital Materiality as the current stage of assimilation of the digital logics in the processes of architectural ideation.*



#### **Autora**

**Arq. María Luciana Gronda**

CONICET

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo

Universidad Nacional del Litoral

Argentina

#### **Palabras claves**

Algoritmos

Diseño paramétrico

Fabricación digital

Proyecto arquitectónico

Variabilidad digital

#### **Key words**

Algorithms

Architectural project

Digital manufacturing

Digital variability

Parametric design

---

**Artículo recibido | *Artigo recebido:***

07 / 04 / 2019

**Artículo aceptado | *Artigo aceito:***

20 / 11 / 2019

---

EMAIL: [grondaluciana@hotmail.com](mailto:grondaluciana@hotmail.com)

---

ARQUISUR REVISTA

AÑO 9 // N° 16 // JUN – NOV 2019 // PÁG. 54–67

ISSN IMPRESO 1853-2365

ISSN DIGITAL 2250-4206

DOI <https://doi.org/10.14409/ar.v9i16.8124>



## INTRODUCCIÓN

Se presenta un artículo de reflexión que explica brevemente los resultados obtenidos de una primera instancia de validación teórica, la cual refiere a una parte de la construcción del Estado del Arte en el marco del propio proyecto de tesis doctoral en curso, titulado: «Materialidad Digital: «Form-finding» como estrategia de diseño basado en el desempeño en envolventes laminares a flexión activa».

El diseño del proyecto de la propia tesis propone un aporte doble con objetivos teóricos y aplicados. La primera instancia conceptual se concentra en definir los procesos recientes de adopción, adaptación y asimilación de las lógicas digitales en arquitectura y proponer categorías analíticas en base a la sistematización obtenida del análisis de los casos de estudio inscriptos en la Materialidad Digital (MD). Para luego, en una segunda instancia de validación práctica, transformar de analítica a operativa alguna de las categorías propuestas y concretamente operar en ella en términos aplicados, sobre la base del análisis de las posibilidades de acceso a sus materiales, métodos e instrumentos.

La instancia conceptual parte de una primera hipótesis guía: es imposible revertir las secuelas de la modernización más cruel sin un cambio radical de paradigma. Al tiempo que, habilitada por las «nuevas» capacidades que admite la MD, estamos asistiendo a una transformación emergente de la condición material en arquitectura —de los modos de concebirla y de operar en ella— que merece conceptualización, sistematización y explicación. Si bien la MD ha sido organizada y explicada sobre tres categorías analíticas: Materia Viva (MV), Materia Responsiva (MR) y Materia Activa (MA) (Gronda; Chiarella, 2017), muchos de los conceptos, instrumentos y formas de abordaje que sugiere en los procesos integradores de ideación y construcción arquitectónica continúan requiriendo conceptualizaciones. En este sentido, el presente artículo ofrece una sistematización de los efectos de la digitalización como intenso proceso de adopción y adaptación de las lógicas digitales en arquitectura.

Los altos costos de inversión asociados a la innovación en arquitectura, combinados con la falta de oportunidades y financiamiento para la investigación, han determinado que la teoría del *Trickle-down effect* configure los procesos de innovación en la disciplina, caracterizada por la adopción (primer giro) y adaptación (segundo giro) de los avances inventados, probados y perfeccionados por las industrias mejor capitalizadas (aeroespacial, automotriz, construcción naval y diseño industrial). Ahora bien, las decisiones relativas en torno a la implementación de determinada tecnología en arquitectura —a diferencia de la década anterior— hoy no refieren a la potencialidad de ampliar las capacidades creativas y productivas; aunque este continúa siendo un aspecto fundamental, el desafío actual es orientar el diseño a la optimización de los recursos —materiales y energéticos—. La optimización no tiene como trasfondo una visión positivista de la realidad, sino que posiciona a la sustentabilidad como paradigma de diseño. Asumido el compromiso en relación con la problemática del medio ambiente y habilitado por las capacidades instrumentales que brindan la simulación y la evaluación digital del modelado científico. Estos instrumentos y variables cuantitativas de análisis promueven en la actualidad un proceso que, por su eficiencia, se acerca a lo sustentable mediante un enfoque de diseño orientado al desempeño o performance<sup>1</sup> (Gronda; Chiarella:2) y que permite pensar nuevas simbiosis entre diseño arquitectónico, entorno construido y medio ambiente. Pero, para alcanzar este nivel de integración en diseño, la disciplina ha tenido que superar dos maneras anteriores de incurrir: en primer lugar, el sesgo frívolo de los '90 con su fuerza centrípeta hacia el «círculo mágico» de las imágenes planas mediatizadas —que dio lugar a toda una generación de tendencias formalistas que priorizaron la estética de la forma por sobre el material y su desempeño—, incapaces de alimentar por sí mismas el paso hacia la condición material de la arquitectura. Y, en segundo lugar, la arquitectura debió superar la mera especialización y alcanzar una implementación creativa de las herramientas digitales.

1. Refiere a la acepción del término «performance» desarrollado en la publicación de referencia.
2. Habiendo conceptualizado el tercer giro o MD en publicaciones anteriores, este artículo se centra en el desarrollo de los dos giros que configuran el proceso anterior. Véase: Gronda, Chiarella (2017a).
3. Fuente de referencia sin traducción al español, por lo que toda cita es una traducción propia.
4. Ver Giedion (1948). Un estudio del papel que desempeñó la mecanización en la vida moderna con una componente histórica que abarca desde la antigüedad. Una obra transdisciplinar cuya argamasa aglutinante es un fenómeno cultural, técnico y material que se actualiza en la mecanización pero que tiene un proceso histórico que va mucho más allá de la construcción moderna. Sus observaciones no esconden los problemas del impacto de la máquina, pero el trasfondo es reconciliador. Ortega le imprime este carácter a su propia tesis doctoral y hace referencia directa al titularla: *Digitalization takes command. El impacto de las revoluciones de las tecnologías de la información y la comunicación en arquitectura*. (Universitat Politècnica de Catalunya. Director: Jose Ignacio Ábalos. Codirector: Jaime Coll López, 2013).

5. Mario Carpo es historiador y crítico de arquitectura y actualmente es el primer profesor Reyner Banham de Historia y Teoría de la Arquitectura en la Bartlett School of Architecture, University College de Londres, UCL, Londres. Sus investigaciones y publicaciones se centran en las relaciones entre las áreas de especialización: historia de la teoría de la arquitectura e historia de las tecnologías culturales, con énfasis en el período moderno temprano (la tradición de Vitruvio y el Renacimiento italiano, desde Alberti a Vignola) y en la teoría del diseño digital contemporáneo (1990 hasta el presente). Teoría y crítica de la arquitectura contemporánea.

6. Lluís Ortega (Barcelona, 1972) es arquitecto doctorado por la Escuela de Arquitectura de Barcelona (ETSAB), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), máster en Filosofía por la Universitat de Barcelona (UB) y obtuvo su Maestría en Ciencias (AAD) de la Universidad de Columbia. En la actualidad, es profesor adjunto en IIT (Instituto de Tecnología de Illinois) y profesor visitante en la Universidad Torcuato di Tella en Buenos Aires. Responsable de varias publicaciones especializadas: director de la revista de arquitectura *Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme* (Barcelona, 2003–2005) y editor de la revista de arquitectura *2G* (Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2000–2001).

Desde la temprana implementación de las herramientas digitales al proceso de diseño es posible encontrar significativos esfuerzos concentrados en acortar las distancias heurísticas y algorítmicas a partir de la incorporación de estrategias «más blandas» a los sistemas CAD —adoptados por la arquitectura pero propuestos por las empresas y las industrias que basan sus requerimientos en las ingenierías—. De otra manera, los giros desarrollados no hubiesen tenido lugar, pero es necesario aclarar que quienes asumían estos modos de operar eran, en general, académicos investigadores pertenecientes al área tecnológica, o bien profesionales apasionados y comprometidos en el ámbito de las herramientas digitales, una minoría que lentamente ha ido creciendo.

#### METODOLOGÍA

Este artículo se propone avanzar en precisiones conceptuales a partir de la selección y el análisis de textos enfocados en la comprensión y explicación de un proceso complejo cuya gestión lleva ya varias décadas. Los procesos de adopción (primer giro) y adaptación (segundo giro) de las lógicas digitales en los procesos proyectuales de ideación arquitectónica son organizados a partir de dos grandes giros o etapas previas al presente histórico disciplinar. El resultado indisoluble de dichos giros anteriores —o tercer giro— evidencia cierto grado de asimilación en el dominio disciplinar de las lógicas digitales y ha sido conceptualizada como MD.<sup>2</sup>

Un primer estudio se basó en la selección de los textos que brindan aportes específicos al análisis detallado sobre los casos analizados. Se revisaron dos autores y tres fuentes originales que devienen medulares en el desarrollo del debate sobre los efectos de lo digital en arquitectura: *The Digital Turn in Architecture 1992–2012*, de Mario Carpo<sup>3</sup> (2012) y dos obras de Lluís Ortega: La digitalización toma el mando<sup>4</sup> (2009) y *Digitalization takes command*. El impacto de las revoluciones de las tecnologías de la información y la comunicación en arquitectura (2013).

En el ensayo introductorio al libro, Mario Carpo<sup>5</sup> (Italia, 1958) construye su visión de la historia reciente y refiere al estado de lo digital en la arquitectura con amplia visión histórica. Si bien este autor también conceptualiza el proceso a partir del término «giro», es Lluís Ortega<sup>6</sup> (Barcelona, 1972) quien —en el desarrollo de su propia tesis doctoral (2013)— ofrece los argumentos para pensar dicho proceso como giro y no como revolución. Este enfoque se considera muy apropiado para reflexionar sobre los acontecimientos históricos y su devenir actual. Mientras que, en términos de Kuhn, una revolución tiene connotaciones de incompatibilidad respecto del modelo (paradigma) que desplaza, el giro redefine sin excluir el modelo anterior, sencillamente reconstituye el foco de atención y expande las fronteras disciplinares (Ortega, 2013:27). El impacto de lo digital como giro y no como revolución se refiere a que el avance de la informática y de las interfaces digitales en la disciplina arquitectónica ha desestabilizado jerarquías y ha puesto en evidencia la necesidad de afrontar un proceso de revisión epistemológica en relación con nociones históricas instauradas como fundamento de la disciplina y que han sufrido importantes transformaciones en el pensamiento y/o en la acción, por lo que requieren y posibilitan volver a conceptualizar el marco de la discusión disciplinar pero no pueden comprenderse como la descripción de un fenómeno que implica un punto y aparte en la historia de la arquitectura. Según Lluís Ortega, interpretarlo así no menoscaba la importancia del cambio; todo lo contrario, lo pone en sus términos justos. Además, el autor sostiene la hipótesis de que el impacto de la digitalización sobre la cultura arquitectónica es similar al giro lingüístico en filosofía. Lo más interesante de esta propuesta es su explícita intención de evitar planteamientos dicotómicos excluyentes. El giro epistemológico que se plantea se basa en las nuevas categorías desarrolladas desde la comprensión del lenguaje como centro de estudio en sí mismo y no sólo como medio entre el conocimiento y la realidad (2013:9), o «las palabras y las cosas».

Ambos autores seleccionados brindan en sus textos análisis de obra, de trayectorias y conceptos claves como herramientas disciplinares. La lectura que se hace sobre ellos se concentra en detectar las especificidades y las diferencias que presenta cada uno de los actores implicados dentro de cada etapa analizada, es decir que el enfoque no se enfoca en el desarrollo analítico del caso en sí (aporte tomado directamente de las referencias seleccionadas) sino en la comprensión de su contribución al giro en cuestión. A riesgo de navegar en la superficie y a los fines de construir una mirada amplia capaz de identificar cambios significativos en el devenir proyectual de la disciplina, el aporte se centra en la sistematización del proceso que va de la mecánica a la MD organizada sobre la base de tres giros. Una construcción propia sustentada en la lectura de los autores seleccionados y en la relación que se establece entre ellos.

A más de dos décadas de diseño arquitectónico digital —si bien Ortega (2009) expresa que el origen de este proceso podría remontarse a los 70, cuando la cibernética se introdujo con fuerza en la discusión del ámbito arquitectónico—, Mario Carpo (2012) afirma que el cambio digital en arquitectura ha pasado por varias etapas o fases. En la citada fuente de referencia, Carpo recopila 26 ensayos publicados por *Architectural Design* (AD) desde 1992.<sup>7</sup> Incluye textos seminales de Bernard Cache, Peter Eisenman, John Frazer, Charles Jencks, Greg Lynn, Stan Allen, Achim Menges y Patrik Schumacher, entre otros, y caracteriza obras clave de FOA, Frank Gehry, Zaha Hadid, Ali Rahim, Lars Spuybroek / NOX, Kas Oosterhuis y SHOP. Ordenados cronológicamente, estos artículos son, según el autor, los más destacados en cuanto al diseño digital y sus lógicas emergentes y juntos configuran una especie de síntesis reciente del diseño digital y su teoría.

Por su parte, Lluís Ortega, en *La digitalización toma el mando*, compila un grupo de textos seleccionados, 16 artículos, que giran en torno al rol que han jugado las nuevas tecnologías en la arquitectura a partir de los años 70. El libro recopila, entre otros, textos de Gordon Pask, John Frazer, Stan Allen, Mario Carpo, Antonie Picon, Brett Steele.

## DESARROLLO

Se presentan, a continuación, los dos primeros giros de lo digital en arquitectura en el complejo proceso que va de la mecánica a la M.D. Son brevemente caracterizados y están localizados en términos temporales. Aunque las fechas solo son indicativas, ayudan a delimitar marcos cronológicos respecto de acontecimientos históricos que han tenido lugar alrededor de cada una de las décadas en cuestión.

### Breve mirada retrospectiva

En los primeros años, el dibujo CAD y las primeras splines expanden las capacidades creativas del proceso de diseño y habilitan procesos de ideación y representación de formas complejas, inabordables para los anteriores sistemas de representación. Las críticas entonces se concentran en el excesivo formalismo incapaz de salirse de las pantallas (primer giro). Luego, el diseño paramétrico y el perfeccionamiento del software específico para la arquitectura continúan incrementando la complejidad en el manejo de la información iterativa y asociada a partir de algoritmos de precisión inédita. Los procesos de ideación se conciben como abiertos y dinámicos, pero esta complejidad formal se legitima, así, en lo filosófico-conceptual (segundo giro). Si bien los inicios de la fabricación digital CNC<sup>8</sup> comienzan a impactar en los procesos de producción en esa década, no es sino hasta la siguiente etapa cuando verdaderamente amplían su alcance para experimentar un giro decisivo hacia lo material que potencia de modo radical las capacidades productivas disciplinares asumiendo un enfoque de diseño orientado al desempeño y constituyéndose como tercer giro paradigmático de lo digital en arquitectura. «La revolución digital es contemporánea a una revolución del material en cuanto a los cambios en la manera en que los producimos y los usamos» (Picon, 2006:14).

### Primer giro

Localización temporal aproximada pensada con relación a acontecimientos históricos: (1990–2000) o última década del siglo XX.

7. Desde que Andreas Papadakis compra la revista AD a finales de 1970, esta publicación fue por mucho tiempo la «sede» principal de debate sobre la arquitectura inscrita al posmodernismo y, en ocasiones, casi el órgano oficial del movimiento. Unos 15 años más tarde, perdido el turno deconstructivista, y poco antes de Papadakis parta, el diseño digital cobra un especial entusiasmo que continúa hasta hoy. En 1992, Andreas Papadakis vendió AD a VCH, una importante editorial científica y técnica alemana. Papadakis continuó en VCH como director editorial hasta finales de 1994. Luego de su partida, Maggie Toy asumió el cargo de editor de la AD. En 1997, John Wiley & Sons adquirieron VCH y con ella AD.

8. Control Numérico Computarizado.

9. Si bien no es objeto central de este trabajo, es oportuno remitirse a los orígenes de la constitución de la noción de autor en arquitectura, mientras que para Brunelleschi la obra construida es un resultado directo del autor, en Alberti el verdadero objeto diseñado es el proyecto. Ortega retoma y profundiza sobre la tesis desarrollada en: Carpo (Ortega, 2013:112).

10. Cuya obra fue escrita mayormente en clave preimpresora —manuscrita—; muy consciente de las limitaciones para la reproducción de la imagen fidedigna, trabaja rigurosamente en una serie de inventos que tenían como fin transmitir la imagen en clave numérica. La codificación alfanumérica se vio inmediatamente sobrepasada por la cultura visual que estableció Sebastiano Serlio con la reproducción gráfica de los órdenes. Véase Ortega (2013:22).

### *Inicio*

- «Adopción» de herramientas CAD, inventadas, probadas y perfeccionadas por las industrias —asociadas al diseño— mejor capitalizadas.

### *Particularidades*

- La implementación de lo digital no supera su uso como mera herramienta para la representación en arquitectura. Si bien se abre un campo de exploración geométrico-formal históricamente inédito e inabordable desde anteriores métodos de representación.
- Se amplían las capacidades creativas disciplinares vinculadas al pensamiento gráfico aplicado a la arquitectura.
- Se ensayan los primeros escapes formales a la seriación en masa como acomodos posmodernos.
- El diseño basado en el cálculo de las curvas splines —continuas y con potencialidad para la variabilidad digital— se convierte en una práctica recurrente.

### *Declive*

- La crisis en la propia capacidad de la disciplina para afrontar la materialización de las formas complejas abordadas digitalmente se superpone a una crisis económica —generalizada en términos globales— que exige cierto grado de continuidad con las soluciones de diseño tradicional.

### **Desarrollo del primer giro** [de la mecánica a la MD]

En líneas generales, la primera fase de diseño digital puede reconocerse como una continuación del deconstructivismo que comienza a incorporar los medios digitales a la representación arquitectónica. Los arquitectos destacados dentro de este proceso, en su amplia mayoría, llegaron a los «pliegues continuos» del diseño digital después de haber transitado su propia formación académica en las fracturas angulares del deconstructivismo. Obras de Zaha Hadid o Frank Gehry, incluso algunas obras del propio Peter Eisenman.

De la lectura de los primeros ensayos seleccionados por Carpo, en particular los escritos por Peter Eisenman de 1992, y por John Frazer de 1995, es posible reconocer que el inicio del giro digital en arquitectura estaba cargado, ante todo, de una cuestión de inspiración, incluso fascinación. Esta primera infancia se vio

marcada por una búsqueda formal que propició válidas preocupaciones, como las evidenciadas por Kenneth Frampton en sus últimos escritos. La materialización, como dimensión esencial de la arquitectura, que conjuga la construcción, sus técnicas y la relación operacional en el trío: geometría, material y estructura, estaba siendo postergada en pos de una búsqueda altamente formalista.

Del primer giro es importante resaltar que el cambio se da a nivel de pensamiento y en cuanto a cuestiones directamente vinculadas a la representación. En los años próximos a 1990, el pensamiento gráfico disciplinar tuvo que afrontar posibilidades inéditas de precisión. Desde el Renacimiento, el proyecto<sup>9</sup> arquitectónico se basa en su capacidad de representación, ya sea que nos remitamos a las Leyes de la Perspectiva Cónica a un punto, en correspondencia con un momento en el que hubo un cambio de paradigma desde lo teológico y teocéntrico a los puntos de vista antropomorfos y antropocéntricos del mundo —planteados por Brunelleschi (1377–1446)—, o con la Teoría de la Perspectiva Científica junto con el tratado en *De re aedificatoria* —elaborado por León Battista Alberti<sup>10</sup> (1404–1472)—; o bien con el revolucionario curso de Geometría Descriptiva —de Gaspard Monge (1746–1818)—, incluso en la modernidad avanzada, la lógica del pensamiento distinguió siempre dos grandes grupos de objetos, aquellos idóneos de una definición rigurosa y los que simplemente no lo eran (Picon:15). Y en principio, las formas que no son representables no son construibles y simplemente quedan fuera del ámbito de los arquitectos. En la era digital, el pensamiento gráfico exige repensar la relación con la tradición de los fundamentos de la geometría, aumentados por el cálculo numérico computacional.

Tanto Antoine Picón, como Mario Carpo y Lluís Ortega —desde diferentes posiciones del saber con relación a su propia formación, trayectoria e intereses— reflexionan sobre una de las afirmaciones más habituales que se hacen sobre la digitalización, aquella en la que el ordenador es considerado como un mediador técnico entre el diseñador y el objeto proyectado: donde el software utilizado condiciona el proyecto y facilita o promueve cierto tipo de geometrías y formas. En este sentido, Ortega afirma que, aun siendo en parte cierta dicha

observación, denota una aproximación excesivamente instrumental y que la digitalización tiene efectos relevantes que requieren otro tipo de análisis. El uso del ordenador introduce la variabilidad y la seriación no estándar como nuevo marco de trabajo, un cambio que distingue fundamentalmente la era digital de la mecánica (y su cultura asociada basada en la repetición). Por su parte, Picón —enfocado más en la cuestión material— se pregunta si realmente las representaciones digitales, en esta etapa, implican un real alejamiento del hacer tradicional del arquitecto, y concluye que con las herramientas digitales es posible recuperar ciertos vínculos con la manualidad o la artesanía. En tanto, Carpo, enfocado en diferenciar las primeras prácticas que en arquitectura evidencian un cambio decisivo en los modos de proyectar, ofrece una definición práctica para poder identificar los referentes más relevantes de esta primera etapa. El autor sostiene que un edificio significativo de la era digital no es cualquier edificio que haya sido proyectado y construido utilizando herramientas digitales, sino que es aquel que no podría haber sido diseñado ni construido sin ellas.<sup>11</sup> Las computadoras son máquinas versátiles y no expresan preferencias estéticas. Es posible utilizar tecnologías CAD–CAM para producir en masa tanto cajas como *blobs*<sup>12</sup> (Carpo:15). Sin embargo, a diferencia de las cajas, los *blobs* no pueden ser producidos en masa sin las herramientas digitales. En las obras de Gehry de finales de la década de 1990, lo digital parece un instrumento sometido a la irracionalidad del autor romántico o del maestro–artista.

Los ensayos reunidos por Carpo prueban, y el autor se encarga de construir sus argumentos, que los *curving folds* surgen en la década de 1990 como una estrategia de diseño interno al debate arquitectónico de la época, como mediación deliberada o síntesis entre la unidad posmoderna de la forma y la fragmentación deconstructivista; entonces la oferta técnica por sí sola no puede ser suficiente para explicar el lazo duradero entre las curvas suaves o *blobs* y el diseño digital. Se podría incluso argumentar que la cultura posmoderna, habiendo adoptado las tecnologías digitales, deviene un «entorno favorable» en el que las lógicas digitales echaron raíces y al que luego se adaptaron para finalmente evolucionar en la forma en que lo hicieron (de todos los ensayos recopilados por Mario Carpo, el de

Charles Jencks es el que brinda la mayor evidencia de parentesco entre los inicios del diseño digital y la arquitectura posmoderna). A fin de cuentas, Derrida y el deconstructivismo estaban más cerca del posmodernismo de Robert Venturi que de una verdadera superación de lo mecánico. En efecto, ambos casos manifiestan el aburrimiento que sienten ante la dureza de la seriación y la tipificación y se da por supuesto que lo diferente es un valor en sí mismo. *La différence* en Derrida —y toda dificultad para definir con precisión lo que sí es la deconstrucción— reside en que su esencia es no ser moderna, no ser un método, sino un conjunto de métodos; una serie de estrategias, una lectura plural —*plus d'une langue*—. Al mismo tiempo en que Derrida conquista la escena filosófica, Robert Venturi reintroduce la posibilidad de la «complejidad y la contradicción en la arquitectura», en contra del estándar estético del llamado Estilo Internacional y de una monopolización ideológica de la modernidad corrompida por las industrias constructivas. En una mirada aún más retrospectiva —en términos temporales—, resurge la reacción de William Morris y el movimiento *arts & crafts* ante la irrupción de la máquina. Lo ornamental manual aparecía entonces como la única vía posible para mantener íntegra la dignidad del trabajador frente a la crítica de la alienación producida por el trabajo en serie. Pero la vuelta a lo identificable que propone Venturi es, ante todo, retórica. Al obviar los procesos de producción, sus discursos a favor de lo complejo y de la diferencia no resuelven la crítica decimonónica del *arts & crafts*. Por su parte, el deconstructivismo, a pesar de ofrecer una imagen distinta, tampoco plantea una alternativa.

Según Carpo, la ola de optimismo tecnológico y exuberancia irracional que acompaña el surgimiento de la arquitectura inspirada digitalmente en la década de 1990 es sofocada por la caída de las «punto-com» (1997–2001) y todos los fundamentos de la teoría del diseño digital fueron cuestionados. En los años que siguen, el diseño digital pasa por importantes adaptaciones teóricas y ajuste constante en la aplicación práctica y, aun así, se mantienen muchos de los lineamientos definidos en el ámbito teórico de la década de 1990.

11. Los trabajos que hacen uso de las herramientas digitales no siempre están basados en la nueva cultura digital. Las obras de Frank O. Gehry no dejan de ser una consagración de la cultura mecánica realizada digitalmente: su proceso de trabajo se basaba entonces en la construcción de maquetas análogas y en su posterior digitalización 3D para garantizar una precisa reproducción del modelo original. Más allá del incremento del potencial de gestión de ciertas geometrías, no hay ninguna diferencia relevante en la manera de pensar los proyectos. El motor económico de la práctica ha significado un empuje fundamental en el uso de ciertas tecnologías (véase, por ejemplo, el papel que ha tenido Gehry Technologies), pero es en el ámbito académico, y con una metodología fundamentalmente experimental, donde se llevan a cabo mayores esfuerzos en la categorización y conceptualización del impacto digital en la disciplina.

12. Los términos *The architectural blob* o *blobmakers* fueron acuñados por Greg Lynn en la década de 1990 (Lynn, 1996).

13. Cálculo que describe variaciones de variaciones.

### Segundo giro

Localización en términos temporales y con relación a acontecimientos históricos: (2000–2010) o primera década del siglo XXI.

#### Inicio

- Caída de las «punto-com» y procesos de reajuste en los modos de pensar y hacer arquitectura acorde a los procesos socioeconómicos y productivos en curso.

#### Particularidades

- «Adaptación» disciplinar de las herramientas CAD–CAM como proceso de superación de la implementación de lo digital como mera herramienta para la *representación*.
- El diseño paramétrico y el perfeccionamiento del software específico para la arquitectura continúa incrementado la complejidad en el manejo de la información iterativa y asociada a partir de algoritmos cada vez más complejos.
- A la implementación de las herramientas digitales en el campo del pensamiento gráfico se suma la incorporación de nuevas referencias matemáticas y filosóficas, como el cálculo de Gottfried Leibniz y los planteamientos teórico–filosóficos de Gilles Deleuze y Félix Guattari.
- Interés centrado en los *procesos* de generación — concebidos de manera abierta y dinámica— por sobre la representación o forma final. Antecedentes teóricos: los estudios de Goethe, los análisis de D'Arcy Thompson y las experimentaciones analógicas de Frei Otto.
- Arquitectura Topológica (1998–2003) por Bernard Cache, Morfogénesis y emergencia (2004–2006) por Michael Hensel, Achim Menges y Michael Weinstock; y Polimorfismo (2006) por Achim Menges, o Filogénesis (2003) por Foreign Office Architects, FOA, entre otras.
- Se difumina el modelo del binomio autor–obra y se abre la posibilidad de que la autoría pueda dividirse entre varios agentes (Objectile).

#### Declive

- La complejidad formal se legitima, entonces, en lo filosófico–conceptual sin lograr aún, en la mayoría de los casos, una superación eficiente del paso de lo digital a lo material.

#### Desarrollo del segundo giro [de la mecánica a la MD]

En términos conceptuales, el contexto de este escenario es el que aportaron Gilles Deleuze y Félix Guattari en libros como *Mil mesetas* (1980), su obra conjunta, y *El pliegue* (1988) escrito por Deleuze, los que indudablemente fueron referencia clave en los entornos académicos anglosajones de la década de 1990.

Lluís Ortega —en su compromiso con un análisis del tipo más bien cultural— plantea que el desarrollo del hardware y del nuevo software —adoptado de otras disciplinas y adaptado a la arquitectura— junto con las traducciones al inglés de los libros de Deleuze y Guattari, constituyeron la combinación necesaria para mostrar los límites del discurso deconstructivista en su intento fallido por superar los dogmas modernos. Las inmediatas consecuencias arquitectónicas del pliegue de Deleuze, y muy probablemente una de las razones para el interés de Eisenman y de Lynn en la materia, fue el análisis que Deleuze hace de Leibniz y de la ley de continuidad de las matemáticas, basada en el cálculo de puntos de inflexión (*le pli*) y cálculo paramétrico (*the objectile*). A través de Deleuze se ofreció todo un universo posmoderno de pensamiento a la teoría naciente del diseño digital. Y si bien Deleuze se interesó en el cálculo como un lenguaje esencialmente moderno de diferencialidad,<sup>13</sup> el marco cultural en el que las tecnologías digitales se pusieron a la tarea de diseñar y producir variaciones —en la forma, en la serie y hacia la personalización en masa— fue en realidad el de la variabilidad posmoderna. En este sentido, Carpo sostiene que el cambio digital en arquitectura puede ser visto como una reivindicación tardía de algunos de los principios de la propia arquitectura posmoderna: contra la estandarización modernista, abogando por la diferenciación, la variación y la elección.

El diseño basado en el cálculo de las curvas se convirtió en una práctica recurrente, y dos aspectos matemáticos de este entorno *spline* han tenido grandes y duraderas consecuencias de diseño: primero, las *splines* digitales deben ser continuas (de lo contrario no podrían derivarse matemáticamente y el sistema dejaría de funcionar como tal); segundo, las curvas *spline* son variables dentro de los límites, ya que se calculan como funciones paramétricas. Entonces, la elección crucial de diseño que determina una familia de curvas (líneas o superficies) es el ajuste de los límites de las variaciones de uno o más parámetros. En este marco, las primeras experimentaciones formales de los arquitectos digitales recuperan referencias históricas en su marcado interés por los trabajos barrocos curvilíneos y las geometrías complejas pretipográficas.

Esta generación tiene, entre otros, dos actores de referencia: Greg Lynn y Bernard Cache. En términos amplios, se reclama una expansión de las fronteras disciplinares y un establecimiento de nuevos principios basados en modelos dinámicos fruto del entusiasmo por el nuevo instrumental. Centrados en la recuperación del cálculo como fundamento de la nueva estrategia de diseño, como única vía de superación de los anteriores argumentos sobre los que se sustentaba la relación entre creador y objeto. El desarrollo del código propio abre las condiciones de posibilidad al diseñador. No se diseña, se calcula, abriendo la puerta a la parametrización más directa. Los modelos formales revisan nociones disciplinares históricas como «tipología» y «programa» y postulan que lo más interesante del diseño paramétrico es su capacidad para disolver las relaciones y jerarquías convencionales de las partes con el todo para producir un todo profundamente modular, así como una variación infinitesimal entre las partes.<sup>14</sup> El hecho de que sus obras sean el resultado de un código<sup>15</sup> abre la discusión sobre nuevos modos de propiedad intelectual. El binomio autor–obra, que estableció un corte nítido entre las estructuras gremiales del maestro de obra medieval y la figura del arquitecto surgida del humanismo, concebido de modo indisoluble por la modernidad y convertido en el principal atributo de la disciplina en las últimas décadas, también es puesto en revisión. La idea de proceso abierto, genérico, dinámico y paramétrico, implica la

posibilidad de que la autoría se divida entre varios agentes (como lo es el *Objectile* en Deleuze y en Caché). Por un lado, están los diseñadores; y por el otro, sus *customisers* finales o interactores.<sup>16</sup> Si en lugar de representar formas estables e inmanentes el arquitecto escribe un código —una especie de ADN de una «familia» o «especie»—, la relación entre autor y obra se difumina, en tanto los agentes que intervienen en su definición se multiplican. De esta manera, se habilita una discusión que solía ser inconcebible en arquitectura y se van gestando, en esta etapa, los orígenes teóricos cuya lógica se acentúa en el siguiente giro.

En un proceso de diseño paramétrico, algunos parámetros son variables por definición. En primer lugar, la variabilidad digital puede ser automatizada para generar cualquier cantidad de variaciones de forma azarosa o en función de algún factor externo determinado. En segundo lugar, el diseñador puede escoger, establecer todos los parámetros que determinan cada componente desde el inicio y «autorizar» solo a un número determinado de ellos; una serie cerrada de diferentes objetos determinados y diseñados por el mismo autor. Sin embargo, hay una tercera posibilidad que no debe descartarse: los finales abiertos y la interactividad son inherentes a la noción de variabilidad digital. Pero solo recientemente una postura colaborativa del diseño digital llamada *Crowdthinking* se ha ganado un reconocimiento más amplio en el nuevo entorno tecnocultural de la llamada web 2.0 y en el contexto del actual entusiasmo por todas las formas de uso colaborativo y «social» de los nuevos medios de comunicación. Esta agencia múltiple no es el único factor de diferencia respecto del modelo de Alberti. La diferencia entre diseño y producción en la que se basaba la estructura de la cultura mecánica se disuelve en el contexto digital. Del modelo digital puede irse directamente a sistemas productivos sin necesidad de pasar por sistemas de representación. Así, de un modelo de autor basado en el control de la representación y con el proyecto como dominio único y exclusivo del diseñador, se pasa a un modelo donde el autor (o autores) no requiere de representación sino de un modelado que arroja un código numérico (CNC) para construir digitalmente. Por otro lado, los sistemas paramétricos hacen que el proyectista sea más un diseñador de un algoritmo que de un

14. Véase: Rocker (2006:88–95).

15. Serie infinita de objetos resultantes, distintos unos de los otros, todos ellos dependientes de un algoritmo común.

16. Ver: Frazer, Jhon. “The Architectural Relevance of Cyberspace (1995)”, páginas 53–56; Perrella, Stephen y Cache, Bernard. “Topological Architecture (1998–2003)”, páginas 146–51, en: Carpo, Mario, *The Digital Turn in Architecture 1992–2012*. John Wiley&Sons Ltd, 2012.

17. El término *Objectile* fue introducido por Gilles Deleuze en su libro *El pliegue con diferentes significados*. De un modo muy sintético, podría decirse que el término hace referencia a objetos non–estándar, objetos in–formados de variabilidad digital y diseñados numéricamente (Ortega, 2013:103).

objeto. Del modelo de diseñador–autor de objetos prefigurados se pasa al de diseñador autor de *objectiles*.<sup>17</sup>

El libro *Filogénesis: las especies de FOA* (Foreign Office Architects —FOA—, 2003), hace alusión a la evolución de los seres vivos. En esta lógica, los trabajos del estudio FOA intencionalmente se organizan según una taxonomía propia de la biología. En el libro hay un artículo de Sanford Kwinter sobre los procesos de generación de la forma titulado «¿Quién le teme al formalismo?», en el cual plantea la problemática de la no distinción entre las nociones de forma y objeto. El problema de la forma revela un interés por los mecanismos de la formación, como acción de ordenamiento, como desarrollo de una lógica resonante de control interno, que puede ser entendida como patrones o estrategias. Al contrario del objeto, la forma es el resultado de una interacción entre las reglas internas y las fuerzas externas. En el mismo libro, Bernard Cache y su socio Patrick Beaucé escriben un artículo titulado «Hacia una producción no estándar» (Beaucé y Cache, 2004:390–405; Ortega, 2009:93–105) en el que aquella arquitectura no estándar se comprende como la que «procede de una arquitectura abstracta que organiza el flujo de datos necesario para la producción digital, y lo hace de una manera mucho más automatizada, donde no existe intermediario entre el creador y la máquina».

A los aportes de la etapa anterior se suma el desarrollo del código propio, el perfeccionamiento del software y los inicios de la parametrización y de la fabricación digital; así, operar desde lo digital implica someter el proceso creador a un marco altamente objetivo y tecnológico. No obstante, es precisamente este marco objetivo el que, a su vez, permite la creación de múltiples especificidades, una diferencia producida en serie. Las formas generadas digitalmente mediante algoritmos pueden producir elementos individuales pero también familias o series. Todos ellos comparten una estructura matemática (una especie de cadena ADN) común con diferenciaciones que no interrumpen la continuidad de la «especie». Muchas obras digitales pertenecientes a esta segunda etapa reincorporan algunos elementos del discurso orgánico.

La voluntad de incorporar la lógica evolutiva puede leerse incluso ya en Gordon Pask, en *La relevancia arquitectónica de la cibernética* (1969) —no sin motivo, es el primer texto de la recopilación que hace Ortega (2009) y el único anterior a 1975—, cibernética entendida no solo como un fenómeno instrumental sino como un nuevo marco teórico desde el que poder pensar y proyectar. Coincide con la constitución de una metodología basada en funciones continuas que generan series de formas pertenecientes a una misma «estructura genética», donde la codificación se convierte en protagonista del proceso de diseño.

El interés sobre los procesos dinámicos de generación de las formas tiene sus antecedentes teóricos mucho más atrás en la historia: en los estudios de Goethe, interesado en los procesos activos y siempre cambiantes frente a los fijos y constantes productos finales; la figura de D'Arcy Thompson (1860–1948) y su obra *Sobre el Crecimiento y la Forma* (1917), la cual estudia los procesos biológicos desde un punto de vista matemático y físico. La morfología no es solo el estudio de las cosas materiales y su forma, sino que es un proceso dinámico respecto de los posicionamientos teóricos más actuales de la *morfoogénesis*. El estudio de las formas es afrontado por la arquitectura en términos de fuerza y energía. Así, la forma de un objeto es un diagrama de fuerzas a partir de la reproducción de los patrones de generación de las formas naturales mediante algoritmos matemáticos. También constituyen un antecedente fundamental las experimentaciones analógicas de Frei Otto sobre los procesos de *form–finding* y auto-generación, en los cuales la explicación de los procesos de generación de la forma se basa en el devenir de las fuerzas físicas que finalmente escapan al control humano.

La teoría de sistemas, la ciencia de la complejidad o la llamada teoría de los sistemas de autoorganización forman parte del legado conceptual con el que los primeros diseñadores digitales emprenden sus experimentaciones. Estas y otras teorías sobre la indeterminación, el caos, y la incertidumbre, se fusionaron luego con diversas metáforas *morfoogénicas* particularmente tendientes a describir la dialéctica digital entre el script (*code, genotype*) y las variaciones paramétricas (*phenotypical adaptations*).

**TABLA I** De la Mecánica a la *Materialidad Digital* en Arquitectura

CHRONOS	1990-2000	2000-2010	2010...
	1 Giro	2 Giro	3 Giro
<b>Pensamiento (paradigma)</b>	Mecánico / Pos-mecánico	Pos-mecánico / Digital	Digital / Posdigital
<b>Contextos disciplinares</b>	Escape posmoderno y Deconstrucción	<i>Arquitectura Topológica, Genética, Polimorfismo, Filogénesis, No-linealidad o Morfogénesis y Emergencia</i>	<i>Materialidad Digital: Materia Viva, Responsiva y Activa</i>
<b>Herramientas</b>	CAD	CAD-CAM	PROCESOS INTEGRADORES
<b>Alcance de la Incorporación disciplinar de las herramientas digitales — y sus ógicas propias —.</b>	Modeladores Splines, Blobs o NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines)	Scripting, Diseño paramétrico y fabricación digital (CNC)	[CAD-CAM, Diseño paramétrico, simulación y análisis numérico computacional y fabricación digital]
	<i>“Trickle-down effect” [de las industrias afines al diseño mejor capitalizadas]</i>	<i>Perfeccionada específicamente para la arquitectura – creativa</i>	<i>‘Procesos Cyber-físicos’ Asimilada desde un nuevo nivel de integración en diseño.</i>
	<b>«Adopción»</b>	<b>«Adaptación»</b>	<b>«Asimilación»</b>
	<i>Creativa</i>	<i>Creativa y productiva</i>	Creativa, productiva y orientada a la optimización de los recursos: materiales y energéticos.
<b>Uso o Nivel de Instrumentalización</b>	Representación	Procesos de ideación algorítmicos, abiertos y dinámicos + nuevas capacidades productivas habilitadas por las herramientas CNC	Simulación y Análisis de modelado científico. Fabricación digital de componentes arquitectónicos complejos
<b>Aporte técnico</b>	Capacidades creativas	Capacidades creativas y productivas	Capacidades creativas, productivas (CAD-CAM) + <i>“Performance”</i>
<b>Fundamento</b>	Formal. Ampliación de las capacidades creativas disciplinares vinculadas a la geometría y al pensamiento gráfico	El pensamiento gráfico aumentado por lo digital habilita la relación con lecturas Filosófico-conceptuales	Los aportes teórico-conceptuales de las décadas anteriores son retomados pragmática y tecnológicamente desde un enfoque de diseño orientado al desempeño o <i>“performance”</i>
	Primeros escapes formales. Se supera el complejo antiornamental del M.M más canónico y Se recuperan referencias históricas, interés por los trabajos barrocos curvilíneos y las geometrías complejas pre-tipográficas	Nuevas lógicas de <i>‘seriación’</i> a partir de la <i>variación local</i> y la <i>diferenciación en serie</i>	Artesanía digital. Sustentabilidad. Biomimicry. Crowdfunding y Cultura Maker. Uso colaborativo y ‘social’ de las herramientas
	<i>Espectacularización del objeto</i>	<i>Variabilidad digital</i>	Agencia múltiple
	<i>‘mass-customization’</i>	<i>‘mass-produce variations’</i>	<i>‘Crowdfunding’</i>
<b>Modelo de producción material</b>	<i>Seriación en Masa estandarización mecánica</i>	<i>Personalización Masiva</i>	<i>Participación masiva</i>
<b>Rol del arquitecto-Autoría</b>	<i>Binómio autor-obra</i> [vigente desde el modelo albertiano y los principios humanistas]	Diseñador ‘co-autor’ de algoritmos, <i>objectiles</i> o <i>procesos abiertos y dinámicos</i>	Autoría genérica y participativa. <i>Trans-disciplina.</i>

Fuente: Elaboración de la autora.

**TABLA DE ELABORACIÓN PROPIA I** Se proponen tres giros en el proceso que va de la mecánica a la MD a los fines de sistematizar continuidades, desplazamientos y disrupciones en los procesos de adopción, adaptación y asimilación de las lógicas digitales a los procesos de ideación y fabricación en arquitectura.

Algunas categorías que se configuran teóricamente para designar el enfoque desde donde se piensa la arquitectura en esta etapa son: *Arquitectura Topológica* (1998–2003), por Bernard Cache; *Morfogénesis y emergencia* (2004–2006), por Michael Hensel, Achim Menges y Michael Weinstock; y *Polimorfismo* (2006) por Achim Menges, entre otras.

Por paradójico que parezca, Ortega afirma que la aparición de las redes digitales recupera alguna de las lógicas de las sociedades orales anteriores a la irrupción de la imprenta. Se cuestiona la idea de tipología como estructura rígida que establece relaciones entre forma y función para volver a hablar de la arquitectura en términos orgánicos y dinámicos. Ya no se piensa en función de series o repeticiones sino de versiones y variaciones. Se supera el complejo antiornamental del movimiento moderno más canónico y se desarrollan nuevos discursos y propuestas sobre lo ornamental como sistema integrador de la Tríada Vitruviana. Con la aparición de los nuevos sistemas integrados de diseño y producción (CAD–CAM) se asimila la limitación de la seriación productiva de la industria mecanizada y se recupera la ambición de personalizar la producción, ya no desde su antigua configuración manual o artesanal, sino desde los sistemas digitales que permiten incorporar la fabricación al proceso de diseño. (Ver Tabla)

## REFLEXIONES DE CIERRE

Los efectos de la digitalización en la arquitectura, como proceso histórico disciplinar —de la mecánica a la MD— podrían entenderse como el giro que sustituye la arquitectura que pasa de pensarse en términos mecánicos a hacerlo en términos digitales y algorítmicos. Retrospectivamente, la cibernética de la década de 1970 se constituyó en el protodiscurso de lo que sería el desarrollo digital de las décadas de 1980 y 1990. La complejidad formal–espacial encontró en Deleuze un discurso teórico–filosófico y tuvo acceso a un instrumental y a una tecnología cada vez más asequibles desde el punto de vista del usuario no experto y financieramente posible para la economía de los pequeños y medianos estudios de arquitectura (Ortega, 2013:106). Además, se asimiló la limitación de la seriación productiva de la industria mecanizada y se recuperó la ambición de una producción personalizada, ya no desde su antigua configuración manual, sino desde la singularidad que permiten los sistemas digitales. El cambio de la seriación mecánica a la variabilidad digital es uno de los aspectos más significativos. En cierto sentido, la asimilación de lo digital permite conciliar dos mundos supuestamente antagónicos: Materialidad Digital —oxímoron— es una conjunción de palabras aparentemente opuestas una construcción conceptual supuestamente contradictoria y una figura retórica que reúne antinomia y complementariedad. Este imposible se presenta como una inversión al sentido común con significado incierto y sugiere preguntas que incitan a una reflexión de mayor profundidad en sus lecturas posteriores. ■



---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEAUCÉ, P. Y CACHE, B.** (2004). Towards a Non-Standard Mode of Production. En *Phylogenesis: FOA's Ark*, Barcelona: Actar.
- CARPO, M.** (2011). *The Alphabet and the Algorithm*. London: The MIT Press.
- (2012). *The Digital Turn in Architecture 1992–2012*. John Wiley&Sons Ltd.
- DELEUZE, G.** (1988). *Le Pli: Leibniz et le baroque*. Paris: Éditions du Minuit. Versión castellana: *El pliegue*, Barcelona: Paidós, 2005).
- DELEUZE, G. Y GUATTARI, F.** (1980). *Mille plateaux*. Paris: Éditions de Minuit. Versión castellana: *Mil mesetas: capitalismo y esquizofrenia*. Valencia: Pre-Textos, 1997.
- GIEDION, S.** (1948). *Mechanization Takes Command: A Contribution to Anonymous History*. Oxford: Oxford University Press. Versión castellana: *La mecanización toma el mando*. Barcelona: Gustavo Gili, 1978.
- GRONDA, M.L.; CHIARELLA, M.** (2017a). Materialidad Digital. Análisis de estrategias performativas transferibles al diseño resiliente. En *SiGraDi 2017. XXI Congreso SIGraDI «Resilience Design»*, 3(12). Universidad de Concepción, Chile, noviembre 22, 2017. Secciones: Teoría y práctica de diseño en contextos digitales. Recuperado de: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/materialidad-digital-analisis-de-estrategias-de-arquitectura-orientada-al-desempeo-transferibles-al-diseo-resiliente-27602> doi: 10.5151/sigradi2017-007
- LYNN, G.** (1996, may). Blob Tectonics (or why Tectonics is Square and Topology is Groovy). *ANY*, 14, 58–62.
- ORTEGA, L. (ed.)** (2009). *La digitalización toma el mando*. Barcelona: Gustavo Gili.
- (2013). *Digitalization takes command. El impacto de las revoluciones de las tecnologías de la información y la comunicación en arquitectura*. Universitat Politècnica de Catalunya. Tesis de doctorado. Departamento de Proyectos Arquitectónicos Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona.
- PICON, A.** (2006). Arquitectura y virtualidad. Hacia una nueva condición material. *Praxis 6. New technologies: New architectures*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago: ARQ. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37506302>
- ROCKER, I.M.** (2006). Calculus-Based Form: An Interview with Greg Lynn. *Architectural Design*, 76(4), 88-95. Versión castellana: La forma basada en el cálculo: una entrevista con Greg Lynn. En ORTEGA, L. (ed.) (2009). *La digitalización toma el mando*. Barcelona: Gustavo Gili.

