

Reevaluación del concepto de constructividad en los edificios de geometrías complejas: su impacto en la formación tecnológica de los arquitectos

Reassessing the concept of buildability in geometrically complex buildings: the impact on the technological education of architects.

Natalia Camelio Zamorano

Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Chile
nati.camelio@gmail.com

Mauricio Loyola Vergara

Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Chile
mloyola@uchile.cl

ABSTRACT

This study examines how digital design and manufacturing technologies are redefining what is considered technically feasible to build in architecture. Six case studies are examined using the Buildability Model proposed in the literature. Results show that buildability factors remain essentially unchanged and should only be deepened or expanded in scope. The results, however, suggest that buildability principles are very questionable, and therefore, they must be reformulated. Additionally, the impact of these results on architectural education curricula is discussed.

KEYWORDS: Constructividad; CAD/CAM; Geometrías Complejas

Introducción

Durante los últimos 20 años la progresiva incorporación de tecnologías digitales al campo de la arquitectura ha expandido crecientemente el abanico de posibilidades técnicas que los arquitectos tienen para diseñar sus edificios. El resultado más evidente ha sido una proliferación de edificios de alta complejidad geométrica en todas partes del planeta, que ocasiona tanta admiración ante la técnica como críticas sobre su pertinencia. Sin embargo, las tecnologías de diseño y fabricación digital y de automatización en construcción no sólo están ampliando significativamente el espectro formal de los edificios, también parecen estar replanteando los criterios sobre qué es técnicamente factible de construir. Edificios con geometrías y materiales que hace 15 años sólo habría sido posible realizar usando tecnología de la NASA (literalmente) hoy son modelados y prototipados en escuelas de arquitectura (Kieran y Timberlake, 2003; Kolarevic, 2003).

Sin embargo, las comunidades profesionales y académicas no parecen estar totalmente conscientes de esta revolución tecnológica. La inmensa mayoría de

los proyectos de arquitectura parecen estar diseñados, evaluados y construidos respetando las limitantes técnicas tradicionales. En realidad, la mayoría de los edificios parecen estar diseñados, evaluados y construidos respetando las *nociones tradicionales de lo que se consideran limitantes técnicas*. Esto es especialmente grave dentro de las universidades y escuelas de arquitectura, donde se siguen repitiendo esquemas formativos basados en paradigmas tecnológicos que hoy están siendo fuertemente cuestionados (Schodek et al, 2004).

Esta investigación tuvo por objetivo enfrentar esta interrogante y examinar hasta qué punto las nuevas tecnologías digitales están redefiniendo lo que se puede o no se puede hacer hoy en arquitectura.

Constructividad

Para examinar el impacto del cambio tecnológico en el diseño arquitectónico, este estudio utilizó el modelo de constructividad propuesto por CIRIA (1983) y Wong et al. (2006) y formalmente desarrollado por Loyola y Goldsack (2010). De acuerdo con el modelo, la constructividad se define como el grado en el cual

un determinado diseño permite una mayor facilidad y eficiencia de construcción, sujeto a todos los requerimientos del cliente y del proyecto. Diseños con mayor constructividad son aquellos que consideran atentamente las particularidades prácticas de los procesos de construcción, facilitando el desarrollo de obras eficientes, rápidas, seguras, económicas y de alta calidad. Para evaluar la constructividad de un determinado diseño, el modelo plantea 10 factores y 4 principios. Los factores son indicadores generales de lo que debe ser considerado en las decisiones de diseño: un diseño con mayor constructividad es aquel que considera todos y cada uno de los factores. Los principios son criterios básicos que orientan las decisiones de diseño, señalando la tendencia adecuada en la mayoría de las situaciones de diseño. Es decir, mientras los factores alertan sobre aquello que debe ser tomado en cuenta al momento de diseñar, los principios sugieren la manera de hacerlo. Los factores y principios de constructividad se muestran en la Fig. 1.

FACTORES	PRINCIPIOS
- Mano de obra	- De simplicidad de tareas
- Procedimientos constructivos	- De reducción de tareas
- Herramientas	- De flexibilidad de tareas
- Materiales	- De reducción de variabilidad
- Clima	
- Terreno	
- Accesibilidad	
- Tiempo	
- Comunicación	
- Coordinación	

Fig. 1. Factores y principios de constructividad, en base a Loyola y Goldsack (2010).

Metodología

Esta investigación utilizó un diseño de estudio de casos. Se seleccionaron cinco proyectos de arquitectura con propuestas geoméricamente complejas que consideraran un uso intensivo de tecnologías de diseño digital, fabricación digital y/o sistemas automatizados. Se incluyó como caso de control un sexto caso con similar nivel de complejidad geométrica, pero construido usando métodos técnicos tradicionales. Para la selección de la muestra, se priorizaron aquellos casos en los que existiera fácil acceso a la información, incluyendo la posibilidad de entrevistar a profesionales de proyecto. La Fig. 2 muestra los 6 casos de estudio: 1) el Museo Guggenheim en Bilbao (Frank Gehry); 2) el Museo del Transporte en Glasgow Riverside (Zaha Hadid); 3) la fachada de la Viña Gantenbein (Gramazio & Kohler); 4) el puente Henderson Waves (Iijp Corporation); 5) el patio de comidas del Centro Comercial Costanera Center (GT2P); y como control, 6) las bodegas y oficina Huanacu (TFPS) (Fig. 2).

Para el análisis se utilizó una matriz que permitió limitar

las subjetividades en la observación y sistematizar los resultados. La matriz incluyó secciones especiales para la descripción del proceso y tecnologías de diseño y de construcción y para cada uno de los factores y principios de constructividad usados como marco conceptual. En cada caso, se observó de qué manera el proyecto da cumplimiento (o no) a los factores y principios propuestos por el modelo, y se detectan los puntos o áreas de no concordancia. Un análisis cruzado entre casos permitió identificar replicaciones literales que validaran los hallazgos.

Resultados

En general, el análisis de casos indica que los factores de constructividad se mantienen inalterados en su esencia y sólo deben ser profundizados o ampliados en su alcance. Los principios de constructividad, en cambio, resultan fuertemente cuestionados en su fondo, debiendo ser reformulados o replanteados.

Los factores internos a obra (*mano de obra, herramientas, procedimientos constructivos y materiales*) se mantienen dentro del mismo alcance propuesto por el modelo. Se aprecia que, en general, existe la tendencia a considerar estos factores como interrelacionados e inseparables, quedando definidos por las capacidades de la industria. El diseño tiende a establecer que las faenas que involucran complejidad de construcción se realicen en industrias controladas y que en obra sólo se realicen faenas sencillas. La excepción la constituyen las faenas de montaje y armado de componentes, en las cuales se utilizan sistemas georeferenciados o de escáner láser para lograr mayor precisión.

Dentro de los factores externos a obra, los factores de *clima, terreno y tiempo* se mantienen inalterados en su concepto y alcance a lo propuesto por el modelo, sin apreciar ninguna variación significativa. Sólo en el caso del factor de *accesibilidad* se aprecia un aumento en su alcance. El modelo describe al factor como determinado por la cantidad y calidad de espacio libre disponible al interior del terreno y por la capacidad de carga de las vías de acceso a la zona de construcción del proyecto (Loyola y Goldsack 2010, pp. 89). El análisis demuestra que esto no es suficiente: se debe incluir además la consideración de los sistemas de manipulación y almacenamiento de partes y piezas (especialmente aquellas variables o únicas), y los sistemas de control y seguimiento logístico.

Los factores transversales (*comunicación y coordinación*) se mantienen en la misma línea propuesta por el modelo, pero cambian en su relevancia relativa. La comunicación surge naturalmente beneficiado por el uso de las tecnologías digitales, especialmente por la abundante cantidad de información visual que se puede obtener fácilmente. La coordinación, en cambio, surge como requerido de mayor atención, ya que no sólo



Fig. 2. Casos de estudio

incluye la coherencia e integración entre las distintas especialidades del proyecto, sino además incorpora los sistemas tecnológicos necesarios para el intercambio de información. La interoperabilidad entre herramientas se vislumbra como un aspecto esencial de este factor de constructividad.

Sin embargo, es en los principios de constructividad donde el análisis arroja una discrepancia mayor entre lo propuesto por el modelo y lo observado en los casos.

El *principio de simplicidad de tareas* sugiere la preferencia de tareas de construcción de menor dificultad unitaria. El análisis muestra que el concepto de “simple” se modifica sustancialmente, pasando desde una concepción basada en la comprensión intuitiva de la tarea hacia una basada en la factibilización tecnológica. Por ejemplo, según el principio de simplicidad, es preferible utilizar materiales que puedan ser transformados usando herramientas tradicionales y operaciones manuales sencillas. En el contexto del uso de herramientas digitales de manufactura, siguiendo el principio de simplicidad, es preferible utilizar materiales que puedan ser maquinados por control numérico.

El *principio de reducción de tareas* sugiere la preferencia de características de diseño que impliquen menor cantidad de tareas de construcción. El análisis muestra que en ninguno de los proyectos esto fue un mandato

de diseño. Más bien, el diseño se orientó a lograr la *integración* de tareas de construcción, sin importar la cantidad total de tareas unitarias.

El *principio de reducción de variabilidad* sugiere la preferencia por diseños estandarizados, repetitivos, que impliquen la repetición de tareas de construcción idénticas en obra. Esto se justifica porque la repetición lleva a que la mano de obra internalice las tareas, reduzca los errores y aumente su productividad. El análisis muestra que el uso de sistemas automatizados permite obtener variabilidad sin añadir dificultad, ya que la complejidad es absorbida por una herramienta y no por un ser humano. En todos los casos estudiados, los diseños se orientan hacia la homologación de tareas y no necesariamente la repetición.

Por último, el *principio de flexibilidad de tareas* sugiere la preferencia por soluciones de diseño que permitan un mayor rango y flexibilidad de posibilidades de construcción, de manera de otorgar libertad en obra para decidir el método más eficiente. Sin embargo, en los casos estudiados se observó la tendencia contraria, con diseños con muy alta especificidad y poca flexibilidad. El análisis muestra que, a la larga, esto facilita las faenas en obra ya que los procedimientos están claramente establecidos, no dejando espacios para interpretaciones.

El análisis de casos concluye, por lo tanto, que mientras los factores de constructividad se mantienen inalterados, los cuatro principios de constructividad del modelo deben ser reformulados, demostrando que efectivamente las tecnologías digitales están produciendo un impacto significativo en el modo de concebir y evaluar la constructividad de los proyectos.

Discusión

Los resultados de esta investigación permiten examinar con perspectiva la manera en que se enseñan tecnologías de construcción en las escuelas de arquitectura. Si son los factores los que permanecen inmutables entre diferentes tecnologías, se estima que deben ser éstos el foco de la formación tecnológica en el diseño. Por el contrario, dado que los principios son variables (y por lo tanto dependientes de la tecnología) su existencia es, por definición, perecedera, y por lo tanto, se estima que debe ser secundaria en la formación.

Entre 2005 y 2011 la carrera de arquitectura en la Universidad de Chile atravesó un proceso de modernización curricular que concluyó en la redefinición del perfil de egreso, la definición de competencias específicas y una nueva malla curricular. Dentro de esta reforma, se incluyeron competencias y subcompetencias que consideran a la constructividad como parte esencial de la formación. En las asignaturas tecnológicas el foco está puesto en que los estudiantes desarrollen capacidades de diseño constructivo, "reconociendo y analizando los factores de constructividad" (CMC, 2010, pp.5) y evaluando los principios de constructividad que sean pertinentes según los recursos tecnológicos considerados.

Referencias

Comisión de Modernización Curricular [CMC]. 2010. *Perfil de Egreso del Arquitecto*. Carrera de Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.

Construction Industry Research and Information Association [CIRIA]. 1983. *Buildability: An Assesment*. Londres: CIRIA.

Kieran, S. y Timberlake, J. 2003. *Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies Are Poised to Transform Building Construction*. McGraw-Hill Professional.

Kolarevic, B. 2003. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. Taylor & Francis.

Loyola, M. y Goldsack, L. 2010. *Constructividad y Arquitectura*. Santiago: Facultad de Arquitectura y Urbanismo Universidad de Chile.

Schodek, D., Bechthold, M; Kimo, J. y Kao, K. 2004. *Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design*. John Wiley and Sons.

Wong, F. ; Lam, P.; Chan, E. y Wong, K. 2006. *Factors Affecting Buildability of Building Designs..* Canadian Journal of Civil Engineers, 33 (7), 795-806.