

Resumen

De manera reiterada se presencian debates en el interior de las escuelas de enseñanza de la arquitectura, referidos a la calidad y eficacia, sobre la forma de enfrentar la representación y desarrollo del proyecto arquitectónico.

Este ensayo, pretende agotar esta discusión sobre la modalidad artesanal versus la modalidad digital como soporte para desarrollar proyectos y como parte de la formación de los futuros arquitectos.

En este sentido, se plantean los pros y contras de ambas posiciones sobre el tema, así como sus implicancias tanto en el mundo académico como en el laboral.

Palabras clave: Herramientas, dibujo, tecnología.

Habilidades instrumentales para desarrollar proyectos arquitectónicos en las Escuelas de Arquitectura en el Perú desde 1980 al 2018*

Instrumental skills to develop architectural projects in architectural colleges in Peru since 1980 to 2018

Arq. Walter Morales Llanos

Recibido: 24 de enero de 2018

Aceptado: 26 de junio de 2018

Abstract

Repeatedly, we have witnessed discussions at schools about the quality and effectiveness of the way to face the representation and development of the architectural project.

This essay aims to run out this discussion on the artisan modality versus the digital modality as a support to develop projects and as part of future architects' training.

In this sense, we will outline the pros and cons of both positions on the subject, as well as its implications both in the academic and in the labor world.

Keywords: *Tool, drawing, technology.*

* El ensayo, es el resultado de las inquietudes y reflexiones del autor respecto de la calidad de las herramientas aplicadas por los estudiantes en el desarrollo de proyectos académicos.

**Arquitecto por la Universidad Nacional Federico Villarreal, magíster por la Universidad Ricardo Palma (URP). Profesor y coordinador del Área de Tecnología de la URP. Consultor en arquitectura e ingeniería.

Introducción

El presente ensayo, es motivado por mi interés sobre las nuevas herramientas utilizadas en la academia para el desarrollo de proyectos y su relación con el ejercicio de la profesión de arquitecto en el lapso desde mi egreso como estudiante de la universidad a la fecha.

En el Perú, desde hace algunos años la tecnología ha tocado las puertas de las escuelas de arquitectura y en algunos casos ha sido tan virulenta su aparición que ha generado por un lado una radicalización de posiciones entre el profesorado acostumbrados al modo manual y la nueva generación con vocación a la digitalización como herramientas antagónicas de la preparación de nuevos arquitectos.

Estos cuestionamientos describen por el lado conservador, la superficialidad con la cual se abordan hoy en día los proyectos en la fase de estudio, donde se estandarizan las respuestas arquitectónicas a partir de inspiraciones formales y visuales provenientes del ciberespacio.

Más aún, según Trillo (2015)

Hoy, en época de virtualidad y representación automatizada, en la que los alumnos de primer curso antes de saber siquiera dibujar una planta, saben extraer cientos de plantas, secciones y alzados incoherentes de un solo dibujo en 3D (p.28)

Mientras que por el lado tecnológico, se rehúye de lo exageradamente profundo y tedioso que resulta ser el asumir el proyecto arquitectónico sin herramientas digitales a cambio se dedica más tiempo y mayor interés a la especulación formal.

Estos cambios en la didáctica han generado una forma diferente de estudiar y generar información sobre el proyecto arquitectónico.

La pregunta que se plantea es ¿si será posible enlazar lo mejor de la tradición académica para aprovechar lo mejor de las nuevas herramientas digitales en las escuelas?

El dibujo a mano ha sido la fórmula ideal para dar rienda suelta a las ideas de los arquitectos, desde los antiguos maestros hasta que

apareció el dibujo digital. Ocurriendo desde entonces un choque de generaciones y de metodologías de trabajo que a la fecha están por resolverse.

Al respecto sostiene, Pallasmaa (2012):

Apoyo enérgicamente el dibujo a mano y el trabajo con maquetas físicas en las primeras fases tanto de la educación en materia de diseño como en el trabajo sobre un proyecto arquitectónico. En numerosos debates en diversas escuelas de todo el mundo acerca de las relaciones entre el trabajo manual y el proyecto por ordenador, he expuesto que los estudiantes de diseño y de arquitectura deberían aprender a trabajar con sus imágenes mentales interiorizadas y con sus manos antes de que se les permita utilizar el ordenador. (p.109)

Tradicionalmente, los arquitectos han tenido al dibujo técnico, aquel que hacía uso de instrumentos como el lápiz, el estilógrafo, las escuadras y un buen tablero de dibujo, como las herramientas y equipamiento necesarios y suficientes para desarrollar sus ideas. Al respecto, es relevante mencionar que en el Perú aún subsisten algunas ciudades, especialmente del interior del país, donde se ejerce la profesión con estas herramientas.

Desarrollar un proyecto arquitectónico de la mejor manera, comprende el despliegue de una serie de habilidades y conocimientos entrelazados.

No creo que hoy se enseñe la construcción mejor o peor que el dibujo o el proyecto, por mencionar algunas disciplinas complementarias: el simple hecho de constar en nómina como materias distintas, susceptibles por tanto como para convocar un congreso, pero sí para no presumir, ni unos ni otros, del plan de estudios. (Piñón, 2006, p.118)

Estos conocimientos, están referidos al diseño y la composición, la construcción, la estructuración, entre otros conocimientos. Y sobre todo el debido conocimiento sobre la técnica de representación, lo cual implica, poder volcar todos estos saberes en un medio de representación que responda a alguna con-

vención de dibujar en dos dimensiones algo que se va gestando en tres.

Así también, apareció la maqueta o lo que es lo mismo el modelo a escala, como la herramienta para representar la tercera dimensión con absoluta fidelidad, cuando las dos dimensiones del plano fueron insuficientes. (Sainz, 1990, p.30)

El reporte más antiguo sobre una rudimentaria representación de una planta arquitectónica es del año 2450 a. C., en la base de la escultura del Rey sumerio Gudea –Museo de Louvre–, donde se aprecia sobre una tableta un gráfico en proyección ortogonal lo que probablemente representa la pared alrededor del santuario de Ningirsu. Es una arquitectura de arcilla y ladrillo de Mesopotamia: una gruesa pared reforzada con contrafuertes exteriores, atravesada por puertas fortificadas y flanqueada por torres.

Más tarde, la técnica del dibujo se enriqueció en 1799, con el aporte del francés Gaspard Monge (1746-1818), al desarrollar la geometría descriptiva como un medio para representar y estudiar los objetos en el espacio, así como introdujo la técnica para la utilización de sombras obtenidas por el método geométrico, en su tratado de sombras y perspectivas.

Posteriormente, a partir de la aparición de las computadoras personales por los años 70, trajo como consecuencia el desarrollo de diferentes *softwares* como el CAD¹ (Dibujo Asistido por Computadora), como una herramienta de precisión de aplicación a la ingeniería, aunque con una performance muy rudimentaria si comparamos con las recientes versiones.

Desde los años 80, esta revolución en la forma de dibujar o representar los planos de una edificación, ha devenido en lo que hoy

es el AutoCAD² 2D y 3D, que aparecieron y se quedaron en las facultades de arquitectura hace más de 20 años. Donde anidaron y fueron ganando terreno a la “vieja escuela”, aquella del dibujo, perspectivas y maquetas a mano.

Fuera de las Academia, ocurría también otra batalla generacional e instrumental que terminó por desplazar del mercado laboral a los dibujantes de los estudios de los arquitectos y en su reemplazo aparecieron los cadistas. Este cambio trajo consigo, la pérdida de un colaborador con mucho oficio en la labor creativa del arquitecto y en su reemplazo apareció un personaje menos dispuesto a crear o plantear soluciones específicas para determinados problemas de diseño o constructivo, producto del desplazamiento de la lógica constructiva, por la lógica de la representación, regulada por el nuevo régimen de los comandos AutoCAD, como son *copy*, *paste*, *mirror*, *offset* entre otros.

No menos trascendentes, fueron el desplazamiento de la escena laboral del colaborador perspectivista y maquetista, quienes complementaban la presentación de los proyectos arquitectónicos, a través de apuntes a tinta, perspectivas en acuarelas o en temperas y la fabricación de maquetas a diferentes escalas, todos estos trabajos de una exquisita calidad artística.

Estos colaboradores, tenían la capacidad de identificar y plasmar la esencia de la idea que cada autor daba a su creación arquitectónica. Estos colaboradores eran escasos para el momento y su reconocimiento profesional estaba sustentado en innumerables experiencias.

En la ciudad de Lima por los 80, eran muy reconocidos los trabajos de Luna, Cusicanqui y Cruzatti entre otros especialistas en perspectivas.

1 Las herramientas CAD o CADD (diseño y dibujo asistido por computadora) permiten hacer uso de las tecnologías informáticas para el diseño y la documentación sobre diseño. El *software* de diseño reemplaza los dibujos a mano con procesos automatizados. Recuperado de <https://www.autodesk.mx/solutions/cad-software> (2018)

2 Los programas CAD tienen distintas características (inglés) en función de si el proceso de diseño involucra gráficos vectoriales 2D o modelado 3D de superficies sólidas. La mayoría de los programas CAD 3D le permite aplicar varias fuentes luminosas, girar objetos en tres dimensiones y renderizar diseños desde cualquier ángulo. Recuperado de <https://www.autodesk.mx/solutions/cad-software> (2018)

Estos personajes, fueron reemplazados progresiva y defectuosamente por los nuevos especialistas en *renders* 3D, quienes no necesariamente provenían de la academia, pues solo era necesario saber los comandos de algún *software* apropiado.

Además de la pérdida de estos importantes artesanos, desapareció la atmósfera de aprendizaje que se generaba en cada estudio de arquitectura, mezcla del trabajo de dedicados arquitectos, expertos dibujantes, dispuestos bachilleros y activos egresados y estudiantes; alineados alrededor de una personalidad del diseño. Esto procuró, más adelante, un resentimiento en la calidad del proceso de elaboración del proyecto, así como se rompió una cadena de formación extraacadémica para adquirir el oficio o la praxis³ tan necesarios para complementar la preparación de un novel arquitecto.

Este trabajo artesanal, demandaba invertir mucho tiempo para desarrollar la técnica para dibujar sobre un original de papel vegetal transparente, mal llamado Canson por la marca del papel, como medio de reproducción. La producción de planos iba acompañada de una rudimentaria tecnología para generar copias a partir del papel transparente sobre el papel ozalid, utilizando como revelador al amoniaco luego del bañado en luz ultravioleta.

La tecnología por su lado, desarrollo lo suficiente para reducir los costos iniciales de un ordenador en su denominación *workstation* al público usuario, cuyas primeras versiones llegaron a costar alrededor de \$10,000 la unidad.

La modernidad propuso facilidades complementarias para la reproducción de los planos, inicialmente la impresión a través de *plotters* lineales de plumillas que contribuyó con la promoción y aceptación del nuevo sistema, más aún cuando posteriormente aparecieron a precios muy económicos, las impresoras caseras de diferentes formatos y calidades de

papel como carta, A4, A3, A2 y calidad de papel como el bond y fotográfico respectivamente, primero en blanco y negro y luego a color.

De regreso a las aulas, ocurre que el encantamiento producido por la nueva herramienta produjo una desatención en el aspecto de la adecuada idealización y representación de los componentes de la arquitectura. La forma de representar los dibujos en adelante vía digital y la seducción por la simplificación del entorno previo al dibujo mismo -no era necesario invertir tanto tiempo en dominar técnicas del lápiz o de la tinta- generó un mundillo especializado y generacional que invadió un entorno donde la experiencia era el componente articulador y jerarquizador.

Esta variable generacional, ha impactado en la forma de hacer las cosas. Como lo plantean García y Morcillo (2007):

Las nuevas generaciones forman parte de una generación que ha crecido inmersa en las TIC, desarrollándose entre equipos informáticos, videoconsolas y todo tipo de artilugios digitales, convirtiéndose los teléfonos móviles, los videojuegos, Internet, el email y la mensajería instantánea en parte integral de sus vidas y en su realidad tecnológica. Navegan con fluidez, tienen habilidades en el uso del ratón, utilizan reproductores de audios y video digitales a diario; toman fotos digitales que manipulan y envían y usan además sus ordenadores para crear videos, presentaciones multimedia, música, blogs, etc. [...] les encanta hacer varias cosas al mismo tiempo: son multitarea. Afrontan distintos canales de comunicación simultáneos, prefiriendo los formatos gráficos a los textuales. Utilizan el acceso hipertextual en vez del lineal. Funcionan mejor trabajando en red y prefieren los juegos al trabajo serio.(p. 2)

Otra consecuencia de esta modernidad, resulta ser la deshumanización de las relaciones entre el arquitecto y su entorno inmediato, llámense colaboradores del estudio, así como a los ingenieros externos con quien muchas veces se desarrollaban amistades perennes.

3 f. Práctica, en oposición a teoría o teórica. <http://www.wordreference.com/es/en/frames.aspx?es=praxis> (2018)

Sin embargo, hoy en día, podemos desarrollar proyectos, con ingenieros a quienes no necesariamente conocemos gracias a las TIC⁴. Queda claro que estas nuevas formas de vincularse entre los seres humanos, son planas e insociables.

Es posible, que conspiraba con aquel método de trabajo, la débil lista de encargos que asumía un estudio por aquellos años 80, donde había pocos profesionales, pocas escuelas de arquitectura y el mercado era relativamente pequeño, consecuencias de la crisis social y política. En comparación a los años posteriores al 2000, donde hubo una masificación de la profesión, producto de la multiplicación de escuelas de arquitectura como consecuencia de las mejoras en la economía del país.

Esta masificación de recursos económicos y humanos impacta directamente en el control de calidad del producto de una oficina de arquitectos de hoy en día. Es usual ver cómo algunos estudios que concentran muchos encargos con una producción importante de proyectos y planillas repletas de cadistas y, sin embargo, su producción no alcanza reconocimiento arquitectónico.

Todo esto incidió desde entonces en el aumento de encargos, concentrándose un buen porcentaje de estos en pocas oficinas en las cuales por lo general su conductor delega los proyectos a un novel arquitecto quien administra la producción de planos en el taller. Esta despersonalización aún contribuye, de alguna forma, a un deficiente control de calidad del que se ufanan los estudios de antes, regentados y conducido por el mismo titular.

Por otro lado, hoy en día y gracias a la tecnología, se puede desarrollar un proyecto completo gracias a la virtualización⁵. Es decir, po-

dríamos trabajar remotamente con nuestros colaboradores inmediatos e ingenieros de cualquier parte del mundo.

Asimismo, los nuevos estudios de arquitectos, deben de enfrentar diferentes retos –como la fluctuante oferta de encargos, demanda masiva y alta volatilidad del recurso humano– que atentan contra la estandarización de la calidad del producto. Esta condición, ha colaborado con la aparición de un nuevo perfil de profesional, que antaño consagraba al arquitecto que esperaba a los clientes para diseñar sus casas o edificios, por otro que hasta hoy en día debe ser mucho más emprendedor y multifacético, en respuesta al nuevo escenario económico. Este arquitecto, ahora debe tener otras habilidades que le permitan desarrollarse además de proyectista y constructor, programador, docente, gestor, supervisor, delegado de instituciones entre otras actividades complementarias con el diseño y la construcción. Esta polifacética disposición para enfrentarse al mercado laboral, demanda del arquitecto otras habilidades más allá del trabajo de gabinete.

Entonces, ¿cuál sería el problema de administrar eventuales volúmenes importantes de metros cuadrados, considerando los retos mencionados, sin resentir la calidad del proyecto?

La solución, estaría en la tecnología planteaba desde el año 1987, el concepto de *Virtual Building*, que fue el resultado de la adaptación de un *software* dedicado a otros requerimientos, pero ajustado para modelar cada componente de un proyecto arquitectónico, como un muro, una viga o una columna. No se trata solo de un dibujo en 2D –dos dimensiones, en plano–, sino de un modelado virtual del edificio en estudio, lo que permite, además convertir este entorno de trabajo en una base de datos con múltiples ventajas y aplicaciones que exceden al objetivo inicial de dibujar pla-

física. La virtualización se puede aplicar a servidores, aplicaciones, almacenamiento y redes, y es la manera más eficaz de reducir los costos de TI y aumentar la eficiencia y la agilidad de los negocios de cualquier tamaño. <https://www.vmware.com/co/solutions/virtualization.html> (2018)

4 Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) son todos aquellos recursos, herramientas y programas que se utilizan para procesar, administrar y compartir la información mediante diversos soportes tecnológicos, tales como: computadoras, teléfonos móviles, televisores, reproductores portátiles de audio y video o consolas de juego. <http://tutorial.cch.unam.mx/bloque4/lasTIC> (2018)

5 La virtualización es el proceso de crear una representación basada en *software* (o virtual), en lugar de una

nos, sino también permite elaborar reportes de componentes para la fase de metrados, incluso para Renders y modelados y sobre todo permite el trabajo colaborativo con otros arquitectos e ingenieros de diversas especialidades, en tiempo real.

Esta modalidad de trabajo, hoy se conoce como BIM –Building Information Modeling–

BIM proporciona a la comunidad de la construcción una base de datos completa en 3D que se puede utilizar para estimar, programar, detallar, generar anticipadamente costos, generar automáticamente planos y planificar la construcción. Además, al agregar información de tiempo al modelo BIM, los modelos 4D facilitan la prueba de diferentes alternativas de diseño y secuencia de ejecución para lograr una mejor constructabilidad. Por lo tanto, al integrar la simulación BIM y 4D, la evaluación cuantitativa de la constructabilidad del diseño de un edificio se convierte en un método novedoso, factible y necesario. (Zhang, Zayed, Hijazi y Alkass, 2016, p.443)

En un entorno BIM, el trabajo del arquitecto tiende a involucrar otras fronteras del conocimiento, más allá del diseño arquitectónico en estricto, para ser un generador y procurador de información paramétrica.

Al modelar un edificio, todos los componentes y reportes están vinculados para optimizar respuestas al sistema constructivo, al medio ambiente, estimar oportunamente los metrajes y costos, así como definir la operatividad y vida útil del futuro edificio, reduciendo los futuros sobrecostos a niveles razonables. Antes de la aparición de estos beneficios de la tecnología, el arquitecto debía desarrollar una muy importante habilidad para detectar los desencuentros entre los diferentes proyectos de los ingenieros y el suyo propio de forma visual.

Por otro lado, el diseño paramétrico permite a los arquitectos y diseñadores en general explorar y trabajar formas con alto grado de precisión y la manipulación de sus patrones geométricos, impensables hace 20 años, esto gracias al uso del *software* Rhinoceros y Gras-

shopper, principalmente. La industria se ha encargado de materializar estas formas sofisticadas, a través de la aparición de las impresoras 3D y los sistemas láser para fabricación de maquetas.

Esta habilidad, se adquiría a través de la experiencia o pasantías en estudios de arquitectos e ingenieros. Es decir, la vida profesional de un joven arquitecto necesariamente pasaba por el ejercicio permanente y minucioso de la práctica de la profesión, inclusive y mejor aún, antes de salir de las aulas. En estas oficinas, era cotidiano recibir a los ingenieros, para coordinar la marcha del proyecto integral. Se trataba de lograr tener proyectos bien resueltos y coordinados. Este era el mayor valor agregado que presentaban los buenos estudios de arquitectura. Estos estudios eran muy solicitados por los jóvenes aprendices de arquitectos, pues la mística desarrollada alrededor de la producción del maestro aglutinaba y daba sentido a los esfuerzos de los participantes.

Hoy en día los grandes estudios están repletos de cadistas, quienes muchas veces no tienen acceso al dueño del estudio, a lo mucho accede al jefe del taller. Es así como se desvirtúa ese vínculo. En mérito a lo expuesto, los estudios ya no son necesariamente el lugar ideal y exclusivo para bañarse de conocimiento y de buena praxis a costas del dueño del estudio.

Esta carencia, impacta en la calidad de los proyectos de edificación, los cuales llegan a obra, con serias debilidades, que terminan generando a veces costosos adicionales y que son puerta abierta a gestiones de los presupuestos de obra.

Esta afirmación es verificable por la gran cantidad de proyectos observados por las comisiones técnicas en diversos municipios de Lima, los cuales adolecen en su mayoría de calidad en su elaboración y recurrente deficiencia en la compatibilización entre la arquitectura y las otras especialidades.

Para finalizar, conviene hacer una reflexión sobre la responsabilidad de la academia. Los planes de estudio aún descansan sobre los tres principios básicos de Vitruvio, la Venus-

tas (belleza), la Firmitas (firmeza) y la Utilitas (utilidad), desde las cuales parten sus Áreas de estudios, como son el diseño, la técnica, la expresión y la teoría e historia de la arquitectura. Principios en permanente *aggiornamento* con los avances de la tecnología, sugiere comprender que hay una tarea no resuelta entre la cátedra y el estudiante, la forma de abordar, entender, pensar, expresar y entender la arquitectura, son distintas hoy en día. (Erazo & Sánchez, 2013, p.775)

Conclusiones

1.- El desarrollo de un proyecto arquitectónico, enfrentado con responsabilidad, es una labor que demanda conocer y aplicar una serie de conocimientos multidisciplinarios.

En los últimos quince años, ha habido una especialización de la arquitectura y las ingenierías con sus respectivas normativas, de tal forma que podemos tener proyectos de edificación que se desarrollan entre la arquitectura y las tres elementales especialidades como son las estructuras, las instalaciones sanitarias y eléctricas, hasta aquellos proyectos que en conjunto pueden incluir hasta quince especialidades.

2.- La TI ha venido desarrollando las herramientas necesarias para administrar el desarrollo de un proyecto de edificación, por lo que son cada vez más dedicadas a la integración real de las diferentes ingenierías. Este avance condiciona a los futuros arquitectos a estar advertidos de algún nuevo *software* y metodologías de trabajo, en forma permanentemente.

3.-Para el desarrollo de grandes edificaciones que demandan importantes inversiones, los

estudios se van desarrollando muchas veces en las fases donde aún no se ha terminado de levantar los recursos financieros. Esto convierte a la ingeniería de proyectos en un modelo sometido a pruebas de existencia. De la noche a la mañana, se deben de introducir cambios para reducir costos, cambios en el sistema estructural, en el tipo de equipamiento, en los acabados, o se deben asumir nuevos criterios en las fases de construcción, lo que inmediatamente debe reportarse en mediciones y costeos.

Dentro de este escenario, la arquitectura es un eslabón más de la cadena, aunque felizmente es uno de los primeros, lo que demanda liderazgo del arquitecto proyectista en el control del resto del desarrollo del proyecto.

4.- Respecto a las herramientas como las que proveen las tecnologías diseñadas para acceder, procesar y transmitir información, deben ser considerados como un medio y no un fin.

5.- Los alumnos acceden al mercado laboral, sin una metodología apropiada para desarrollar con éxito sus proyectos, como producto de este irresuelto debate. El perfil del egresado de las escuelas de arquitectura va siempre desfasado del perfil que demanda el mercado laboral.

Las escuelas de arquitectura deben actualizar su oferta académica. Sus respuestas por lo general, se enfoca en las demandas o exigencias del medio local, sin embargo, las demandas pueden ser más exigentes en el extranjero, hoy en día que la globalización es un hecho.

Referencias

- Dibner, Bern: Leonardo and the third dimension. En Belloni, Enrico y Rossí, Paolo (ed.), *Leonardo e l'eta della ragione* (pp. 79-101). Milan, Italia: Sigla testo y, Comune di Milano
- Erazo, Edgar Diego, & Sánchez, Pável. (2013). Incidencia de medios de expresión digital en formación de arquitectos y arquitectas. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 11(2), 769-781. Retrieved May 06, 2018, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-715X2013000200022&lng=en&tlng=es.
- Cerkez, B. (1999). Una lección de la Historia. El nacimiento del dibujo arquitectónico. *Arte, Individuo y Sociedad*, 11, pp. 69-82
- García, L. P. & Morcillo, J. G. (2007). Las TIC en la enseñanza de la Biología en la educación secundaria: los laboratorios virtuales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), pp. 562-576.
- Pallasmaa, J. (2012). *La mano que piensa. Sabiduría existencial y corporal en la arquitectura*. (p. 109) Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili S.L.
- Piñón, H. (2006). *Teoría del proyecto*. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Sainz, J. (1990). *El dibujo de arquitectura. Teoría e historia de un lenguaje gráfico*. Madrid, España: Nerea.)
- Trillo, J. (2012). La palabra dibujada. Antonio Fernández-Alba, primer y último maestro. <http://www.redalyc.org/html/5176/517651577003/>. / p. 28.
- Zhang, C., Zayed, T, Hijazi, W. y Alkass, S. (2016). Quantitative Assessment of Building Constructability Using BIM and 4D Simulation. *Open Journal of Civil Engineering*, 6, 442-461. Traducción del autor.