

Métodos Computacionales en Arquitectura: La Formación de Arquitectos con Competencia en CyT

Computational Methods in Architecture: The Education of Architects with Competence in S&T

Luis Felipe González Böhme

Universidad Técnica Federico Santa María
luisfelipe.gonzalez@usm.cl

Cristián Calvo Barentin

Universidad Técnica Federico Santa María
cristian.calvo@usm.cl

Mauro Chiarella

Universidad Nacional del Litoral
CONICET, Argentina
chiarell@fadu.unl.edu.ar

Abstract

Tomorrow's architects will need to deal more confidently and skillfully with scientific and technological innovations in their field, e.g., parametric design, building physics, construction robotics, home automation, etc. Architecture students today must understand how things work and absorb some of the basic principles and techniques involved in their design, construction or operation. Now students need to build back some of that analytical, logical, critical, and analogical thinking that may have atrophied due to a traditional architectural education. Playing with toy construction kits for building automatic control and mobile robot models, does the job without losing the architect's approach and attitude.

Keywords: Architectural education; Construction kits; Educational computing; Active learning; Learning styles

Comunicar

En las escuelas de arquitectura es habitual mezclar diseño, arte, ciencia y tecnología de manera superficial, ya sea para *informar* el diseño o fundamentar una o varias *jugadas de diseño* durante la resolución del encargo arquitectónico. La alquimia se produce semestre a semestre dentro del taller de arquitectura, *columna vertebral* de la carrera. Hasta aquí nada nuevo, el afán de integrar y negociar está en la naturaleza de los arquitectos, como afirman Gross y Do (2009) y muchos otros. Además la fusión de éstas y otras áreas particulares de experticia, es cada vez más necesaria para producir innovación y aprender a diseñar con restricciones (Tavares, 2011). En ese entorno educativo, sin embargo, instructores y estudiantes a menudo toman prestados conceptos y términos originales de otras disciplinas sin profundizar en su significado ni en el modo adecuado de emplearlos. Es verdad que entre arquitectos la comunicación gráfica y gestual predomina sobre la escrita (Cross, 1982). Presumiblemente una de las razones de ello es la forma en que los arquitectos adquieren conocimiento. Los resultados del cuestionario de estilos de aprendizaje de Felder y Silverman (1988; 2013) aplicado a los estudiantes de arquitectura del nuevo ingreso de las cohortes de 2009, 2010 y 2011 de la Universidad Técnica Federico Santa María (Mora, 2011), muestran que entre el 58% y 69% de los encuestados prefiere explicaciones visuales de la materia, entre el 0% y 6% las prefiere verbales y sólo entre el 31% y 36% equilibra ambos canales de comunicación.

Tabla 1. Estilos de aprendizaje de los estudiantes de arquitectura de la Universidad Técnica Federico Santa María.

	Cohorte 2009	Cohorte 2010	Cohorte 2011
Activo	45%	42%	25%
Reflexivo	5%	3%	0%
Act.-Ref. Equilibrado	50%	56%	75%
Sensorial	25%	17%	28%
Intuitivo	9%	11%	14%
Sen.-Int. Equilibrado	66%	72%	58%
Visual	64%	58%	69%
Verbal	0%	6%	0%
Vis.-Ver. Equilibrado	36%	36%	31%
Secuencial	34%	42%	44%
Global	7%	8%	0%
Sec.-Glo. Equilibrado	59%	50%	56%

Según R. M. Felder (1996), un estudiante *activo* retiene y entiende mejor la información aplicándola, probando, experimentando con ella y trabajando en equipo, conversando sobre la materia, preguntando y también explicándosela a otros. Un estudiante *reflexivo*, en cambio, prefiere pensar bien las cosas en soledad antes de actuar. Un estudiante *sensorial* percibe mejor la información si está expresada en hechos y datos concretos, necesita la conexión con el mundo real, presta atención a los detalles, memoriza datos, prefiere los métodos establecidos, evita complicaciones y sorpresas. Un estudiante *intuitivo*, en cambio, prefiere descubrir posibilidades y relaciones, le acomoda la abstracción, aprecia la innovación y desprecia la repetición. Un estudiante *visual* entiende y recuerda mejor imágenes fijas o en movimiento y demostraciones visuales o actuadas. Un estudiante *verbal*, en cambio, saca mejor provecho de explicaciones orales y escritas. Un estudiante *secuencial* comprende la materia paso a paso, siguiendo un orden lógico y es capaz de utilizar parte de la información absorbida sin haber necesariamente comprendido su totalidad, en tanto dicha información se encuentre estructurada de manera lógica. Un estudiante *global*, en cambio, tiende a aprender a grandes saltos, absorbiendo la materia de forma aleatoria sin ver conexión alguna entre las partes hasta que de repente logra *ver el cuadro completo*.



Figura 1: Métodos Computacionales en Arquitectura se desarrolla en un aula de diseño inspirado en el modelo TEAL.

Otro factor que sin duda dificulta un aprendizaje más profundo de conceptos y términos extradisciplinarios es el rol de *generalistas*, impuesto por una cultura conservadora del gremio que insistentemente intenta disuadir a los arquitectos de transformarse en *especialistas* o siquiera de sentirse como tales. Es el propio Instituto Americano de Estudiantes de Arquitectura (AIAS, en inglés) quien pone como condición para continuar siendo los “líderes generalistas de equipos de diseño” (sic), que los arquitectos sean capaces de entender el lenguaje de múltiples disciplinas y de áreas particulares de experticia (Koch, Schwennsen, Dutton, & Smith, 2002). Lo curioso es que muchos estudiantes de arquitectura no logran asociar la terminología científica y técnica empleada en otras asignaturas de la carrera,

con aquella empleada en el taller de arquitectura. El fenómeno se observa con mayor intensidad en los talleres de arquitectura que privilegian la aplicación de métodos computacionales por sobre otros contenidos de aprendizaje. En ellos es común el uso impreciso y, con frecuencia, erróneo de conceptos y términos de la matemática o la computación. Sokal y Bricmont (1999) ya habían denunciado un fenómeno similar con los pensadores *postmodernos*. Hoy es David Rutten, creador del popular entorno de programación visual *Grasshopper*® para el software de diseño paramétrico *Rhinoceros*®, quien se queja de lo mismo pero en la formación de los arquitectos. Rutten (2013) denuncia la falta de prolijidad en la documentación escrita de proyectos de los estudiantes de pregrado. También denuncia la falta de sentido común al escoger tipografía, imágenes y diagramación de memorias de título y otros textos académicos que resultan incomprensibles.

Por otra parte, Lawson (2004) nos recuerda que diseñar por medio del dibujo es relativamente nuevo y da como ejemplo el texto *De re Aedificatoria* de Leon Battista Alberti, cuya versión original carece de toda imagen ilustrativa. Un vocabulario amplio, así como precisión en el uso de las palabras y persistencia en nombrar del mismo modo lo que es igual dentro de un mismo discurso, pueden ofrecer ventajas de toda clase, desde evocar una experiencia diferente en cada interlocutor (o lector) hasta comunicar de manera inequívoca una idea. A pesar de todo, en opinión de algunos instructores, los estudiantes de arquitectura no necesitan aprender a expresarse verbalmente con propiedad, sino sólo a través del diseño. Rutten (2013) juzga el desinterés generalizado de las escuelas de arquitectura por fomentar la escritura científica (o académica) en los estudiantes de pregrado como “una omisión criminal del curriculum” (sic). Según Lawson (2004), todo equipo creativo debe ser capaz de conducir una conversación estructurada que les permita adquirir, desarrollar, explorar y comunicar conocimiento. Hemos despreciado el valor del lenguaje oral y escrito en la formación de los arquitectos.

En Chile, apenas un 10% de los chilenos con educación superior (universitaria, profesional o técnica) logra alcanzar los niveles más altos (4 y 5) de desarrollo de las habilidades y competencias necesarias para comprender y utilizar información contenida en textos tales como editoriales, artículos noticiosos y textos literarios (CMD, 2013). Peor aún, más del 80% de la población chilena se ubica en los dos niveles inferiores (1 y 2) de competencias básicas en todos los dominios: *prosa, documentos y cuantitativo* (CMD, 2013).

Pensar

Pero en la formación de los futuros arquitectos, no sólo importa ampliar y mejorar los modos de comunicación, sino también de pensamiento. Cross (2007) arguye que el modo como los diseñadores piensan es aposicional —o como lo plantea Lawson (2004), en base a transformaciones laterales del conocimiento— y abductivo (en base a conjeturas), y que sus estrategias para

resolver un problema se enfocan en la solución potencial, no en analizar el problema. Esto último sería una de las principales diferencias entre el método científico y el del diseño. Para Dorst (2007), en cambio, el diseño se puede abordar de muchas maneras distintas y probablemente todas ellas sean necesarias para resolver un encargo de diseño, sólo que en distintas etapas del proceso. Como sea, la AIAS (Koch et al., 2002) advierte que la formación de los arquitectos necesita ofrecer una base más amplia de ideas sobre la cual apoyarse, diferentes modos de conocimiento, diferentes métodos de investigación y análisis, así como diferentes enfoques y actitudes. En el caso de nuestros estudiantes de arquitectura, se requiere complementar sus modos de pensar, entre otros, con el analítico, lógico, crítico y analógico. Villa y Poblete (2007) son categóricos en señalar que mientras más modalidades de pensamiento desarrolle una persona, mayores posibilidades intelectuales poseerá. Algo que parece de sentido común. El pensamiento *analítico* “es el comportamiento mental que permite distinguir y separar las partes de un todo hasta llegar a conocer sus principios o elementos. El pensamiento analítico es el pensamiento del detalle, de la precisión, de la enumeración y de la diferencia” (Villa & Poblete, 2007, p. 64). El pensamiento *lógico* “es el comportamiento mental que desarrolla las formas de pensar propias del conocimiento en general y del conocimiento científico en particular, dedicando su atención a la estructura del mismo” (Villa & Poblete, 2007, p. 100). El pensamiento *crítico* “es el comportamiento mental que cuestiona las cosas y se interesa por los fundamentos en los que se asientan las ideas, acciones y juicios, tanto propios como ajenos” (Villa & Poblete, 2007, p. 80). El pensamiento *analógico* “es el comportamiento mental que logra establecer relaciones de semejanza o similitud entre las cosas distintas” (Villa & Poblete, 2007, p. 107).



Figura 2: Actividad de ensamblaje y programación de un modelo a escala de elevador de Fischertechnik®.

Saber

La paradoja es que acceder a la información es más fácil hoy, pero construir conocimiento es igual de difícil que ayer. Aunque si observamos con detención los *nuevos medios* —es decir, las formas de producción, distribución y comunicación mediadas por el computador—, podemos darnos cuenta que muchos se basan en

principios que ni son tan nuevos ni tan exclusivos de la computación. Manovich (2001) advierte cinco fundamentales: *representación numérica, modularidad, automatización, variabilidad y transcodificación*. El primero explica que cualquier objeto de los nuevos medios, ya sea que haya sido creado enteramente por computador o sólo *digitalizado* se compone de números y, por lo tanto, su contenido y forma son modificables mediante operaciones matemáticas, especificables en un *algoritmo* (una secuencia finita de instrucciones). El segundo explica que un objeto de los nuevos medios posee la misma estructura modular en toda su extensión. Ya sea una imagen, sonido, forma o acción, cada objeto es representado como una colección de instancias discretas (píxeles, caracteres, etc.) que pueden ser tratadas independientemente: separadas, alteradas y luego re-ensambladas. El tercer principio deriva de los dos anteriores y explica que las operaciones involucradas en la creación de un medio digital pueden ser automatizadas, ya sea a un *bajo nivel de abstracción* (rutinas invisibles para el usuario) o *alto nivel de abstracción* (interacción con el usuario). El cuarto principio también deriva de los dos primeros y explica que un objeto de los nuevos medios puede existir en distintas versiones, posiblemente infinitas variantes. El quinto principio explica que, aunque parezca que los nuevos medios conservan una organización estructural que nos hace sentido a los humanos, ésta en verdad se rige por convenciones establecidas para la organización de datos en un computador, e.g., módulos (o bibliotecas), listas, archivos, arreglos bidimensionales, o la separación entre el *bloque de declaraciones* y el *bloque de instrucciones*. También podemos darnos cuenta que en el desarrollo de nueva tecnología, hoy también se aplican técnicas que tampoco son tan nuevas ni tan específicas de un dominio, e.g., maquetar, ensamblar, reutilizar, adaptar, etc. Así, maquetar, modelar o prototipar es transversal a diseñadores, científicos e ingenieros. La modularidad es condición para ensamblar, ya sea componentes físicos o paquetes de información. Reutilizar y reciclar es, a estas alturas, imperativo en cualquier disciplina. Adaptar es condición fundamental para aplicar las técnicas anteriores. Por ser más fácil de aplicar sobre objetos tangibles, los estudiantes de arquitectura ya están familiarizados con la mayoría de estas técnicas. Sin embargo, nuevos métodos de producción por control numérico computarizado (CNC, en inglés) integran ambos mundos: digital y analógico. La transcodificación ocurre reiteradamente en ambos sentidos. Además nuevas generaciones de objetos dotados con inteligencia y capacidad de comunicarse (Smith, Vermesan, Friess, & Furness, 2012) dan nuevo impulso al desarrollo de la domótica. Es urgente que los futuros arquitectos también entiendan estos principios, dominen estas técnicas y sean capaces de abordar con más confianza y destreza las innovaciones científicas y tecnológicas en arquitectura.

Jugar

La reciente actualización del plan de estudios de la carrera de arquitectura de nuestra universidad abrió una ventana de oportunidad para renovar contenidos y métodos de aprendizaje

de algunas asignaturas, pero también para introducir nuevas asignaturas. Una de ellas se llama Métodos Computacionales en Arquitectura. Está dirigida a estudiantes de 4to. semestre de la carrera y tiene por objetivo desarrollar en ellos el pensamiento analítico, lógico, crítico y analógico para resolver problemas de aplicación en arquitectura empleando métodos y herramientas computacionales. La metodología de aprendizaje activo basado en problemas que se aplica en esta asignatura, sintoniza con los estilos de aprendizaje predominantes entre nuestros estudiantes (Tabla 1) y estimula el desarrollo de los otros. La asignatura se imparte en un aula de diseño inspirado en el modelo TEAL del MIT (Figura 1). Durante el semestre se realizan tres actividades alternadamente: (1) ensamblaje y programación de modelos a escala armables de control automático y robótica móvil autónoma, (2) documentación técnica escrita sobre las experiencias con los modelos armables, y (3) modelación gráfica de problemas estructurados (de programación) y problemas *del mundo real*. Todas las actividades se realizan en equipos. La actividad (1) se lleva a cabo in situ, sólo con el apoyo de manuales, instructivos y guías facilitadas por el instructor. Los estudiantes son libres de buscar información adicional en la biblioteca o en Internet. Independientemente de las distintas destrezas individuales, todos los estudiantes inician la actividad con timidez y demostrando altos niveles de frustración cada vez que una pieza no encaja correctamente, o un algoritmo no funciona. En cambio, una vez que logran hacer funcionar su primera *puerta corredera automática o grúa horquilla no tripulada*, se produce el efecto *¡Aha!* y entonces comienzan a jugar y a experimentar alterando el modelo y su programación (Figura 2). La actitud de jugar surge nuevamente en cada sesión. Se utilizan los kits Robo TX Beginner lab® y Robo TX Training lab® de la línea Computing® de la firma Fischertechnik®. La actividad (2) se lleva a cabo dentro y fuera del aula. Los estudiantes se orientan mediante una pauta escrita facilitada por el instructor. Esta actividad ha sido la más censurada por los estudiantes de arquitectura. La actividad (3) se desarrolla en base a presentaciones orales y audiovisuales periódicas de los estudiantes. Su tarea es definir y representar un problema *del mundo real*, local y significativo, e idear un plan para resolverlo empleando los principios y técnicas experimentados mediante el ensamblaje y programación de los modelos a escala. Existe una presentación final que permite observar cómo los estudiantes son capaces de integrar lo aprendido en las tres actividades. El blog de la asignatura (González & Calvo, 2012) apoya la comunicación con los estudiantes y entre ellos y sirve de control de avances. Se espera que al aprobar la asignatura, los estudiantes sepan:

- Plantear y resolver problemas de manera secuencial e incremental.
- Conceptualizar y representar problemas mediante la elaboración de modelos.

- Comprender conceptos básicos de programación computacional utilizando el lenguaje de programación visual Robo Pro® de Fischertechnik®.
- Aplicar conceptos en base a la construcción de modelos y prototipos físicos.

La asistencia es masiva, entre 50 y 60 estudiantes. Las actividades (1) y (3) son evaluadas in situ, sesión a sesión. Los criterios a evaluar en ese caso corresponden a algunos de los indicadores que Villa y Poblete (2007) describen para evaluar el desarrollo de los cuatro modos de pensar anteriormente descritos. Para evaluar la actividad (2) se revisan aspectos como la redacción, ortografía, diagramación e ilustración del documento. Se supone que la documentación servirá para que otra persona, pueda reproducir la experiencia descrita ahí.

Primeros Resultados

Ocho meses después de haber aprobado la asignatura, preguntamos: ¿Qué efecto ha provocado esta asignatura en su modo de pensar y actuar? Aquí, algunas respuestas:

“Me siento capaz de crear más cosas, de no tenerle miedo a los programas de computación. Además tengo una mayor capacidad de solucionar los problemas diarios o de abarcarlos de alguna manera.”

“Este ramo me hizo preguntarme el cómo funcionan las cosas y cómo buscar distintas soluciones no obvias a los problemas.”

“Me hizo tomar conciencia de la complejidad de las cosas y saber que la tecnología sirve más allá de lo que uno piensa.”

“Me ayudó a ser ordenado y saber seguir un proceso de trabajo al momento de abordar un problema, proyecto, etc.”

“El ramo provocó cambios en la forma de ver problemas cotidianos, encontrar soluciones alternativas, trabajar de forma ordenada, ver que los problemas pueden no tener solución, como más de una y trabajar simultáneamente con las distintas alternativas de que se disponen.”

“Me ayudó a cambiar mi metodología para resolver problemas. Amplió mis conocimientos tecnológicos en cuanto a construcción, arquitectura y programación. También a entender cómo funcionan los artefactos tecnológicos que utilizamos en nuestro día a día.”

“El interés de querer saber cómo funciona lo que me rodea y cómo mezclarlo o implementarlo en la arquitectura y el diseño.”

Agradecimientos

Agradecemos la gentil colaboración del profesor Celin Mora. El diseño e implementación de la asignatura Métodos Computacionales en Arquitectura fue financiado con fondos del

Estado Chileno, a través del programa para el Mejoramiento de la Calidad y Equidad de la Educación Superior (MECESUP FSM-802).

Conclusiones

La evidencia testimonial permite concluir que la mayoría de los estudiantes que aprobaron, logra integrar mentalmente las tres actividades de la asignatura, con igual ponderación. Y a pesar del tiempo transcurrido, notan claramente un efecto en su forma de pensar y de actuar. Se observa además una mejora significativa en la redacción de sus respuestas y en su ortografía, en comparación con los primeros intentos de documentación técnica realizados en la asignatura en 2012. El mismo grupo de estudiantes se inscribió al semestre siguiente en la nueva asignatura llamada Taller de Métodos Computacionales en Arquitectura que completa el ciclo formativo del Área de Profundización en Computación del Departamento de Arquitectura. Ya desde el inicio de esta segunda asignatura fue evidente el cambio de actitud de los estudiantes hacia la ciencia y la tecnología, y su vinculación con la arquitectura. También se observaron cambios positivos respecto de su autonomía, determinación, compromiso académico, curiosidad científica, creatividad tecnológica, puntualidad y vocabulario. Respecto del empleo de conceptos científicos, hoy se muestran más cautelosos y motivados por querer saber su significado original. También se muestran más seguros, confiados y diestros al tratar con innovaciones tecnológicas en el campo de acción de los arquitectos. La mayoría conoce y es capaz de aplicar algunos principios y técnicas básicas involucradas en el desarrollo tecnológico actual.

Referencias

- CMD. (2013). Segundo estudio de competencias básicas de la población adulta 2013 y Comparación Chile 1998-2013. Santiago, Chile: Centro de Microdatos de la Universidad de Chile, Cámara Chilena de la Construcción, Ministerio del Trabajo y Previsión Social.
- Cross, N. (1982). Designerly ways of knowing. *Design Studies*, 3(4), 221-227.
- Cross, N. (2007). *Designerly ways of knowing*. Basel, Switzerland: Birkhäuser Verlag.
- Dorst, K. (2007). *Understanding design: 175 Reflections on being a designer*. Berkeley, USA: Gingko Press.

- Felder, R., & Silverman, L. (1988). Learning and teaching styles in engineering education. *Engineering Education*, 78(7), 674-681.
- Felder, R. M. (1996). Matters of style. *ASEE Prism*, 6(4), pp. 18-23.
- González, L. F., & Calvo, C. (2012). arq_232: métodos computacionales en arquitectura, from <http://arq232.wordpress.com>
- Gross, M. D., & Do, E. Y.-L. (2009). Educating the new makers: Cross-disciplinary creativity. *Leonardo*, 42(3), 210-215.
- Koch, A., Schwennsen, K., Dutton, T. A., & Smith, D. (2002). The redesign of studio culture: A report of the AIAS studio culture task force. Washington DC, USA: American Institute of Architecture Students.
- Lawson, B. (2004). *What designers know*. London, UK: Architectural Press.
- Manovich, L. (2001). *The language of new media*. Cambridge, USA: MIT Press.
- Mora, C. (2011). *Cuestionario de estilos de aprendizaje de Felder-Silverman a los estudiantes del nuevo ingreso de las cohortes 2009 y 2010 de Universidad Técnica Federico Santa María*. Centro Integrado de Aprendizaje en Ciencias Básicas, Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile.
- Rutten, D. (2013). Worrisome trends in architecture education. Retrieved from <http://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2013/08/09/worrisome-trends-in-architecture-education/>
- Smith, I. G., Vermesan, O., Friess, P., & Furness, A. (2012). The Internet of things 2012: New horizons. Halifax, UK: IERC-European Research Cluster on the Internet of Things.
- Sokal, A., & Bricmont, J. (1999). *Fashionable nonsense: Postmodern intellectuals*. New York, USA: Picador.
- Soloman, B. A., & Felder, R. M. (2013). Index of learning styles questionnaire Retrieved 16/Septiembre, 2013, from <http://www.engr.ncsu.edu/learningstyles/ilsweb.html>
- Tavares, M. (2011). Art, design, science, and technology: the necessary melding. *DEARQ*, 08(July 2011), 6-17.
- Villa, A., & Poblete, M. (2007). *Aprendizaje basado en competencias: Una propuesta para la evaluación de las competencias genéricas*. Bilbao, España: Universidad de Deusto.