

INTEGRANDO FENÓMENOS AMBIENTALES EN EL TALLER DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO INICIAL: REFLEXIONES A PROPÓSITO DEL MODELADO DE CALOR EN ESPACIOS HABITABLES

INTEGRATING ENVIRONMENTAL PHENOMENA IN THE INITIAL ARCHITECTURE STUDIO: REFLECTIONS ON MODELING OF CONVECTIVE CURRENTS IN LIVING SPACES

Ricardo Martínez¹

David Cabrera²

Diego Vasco³

Resumen

En la influyente visión de Donald Schön sobre el proceso de diseño, este se describe como una conversación entre el diseñador y los materiales de una situación. Nigel Cross posteriormente agregaría que el lenguaje de tal conversación es, por excelencia, el modelado. A la luz de estas ideas, este artículo de carácter descriptivo trata sobre el uso de modelos análogos en orden a permitir y potenciar la inclusión de *temas ambientales en la conversación* metafórica planteada por Schön, usualmente ausentes de los talleres de diseño arquitectónico iniciales. A modo de ilustración del potencial del modelado análogo en estos casos, presenta un ejercicio de diseño arquitectónico en cuyo abordaje el modelado del calor, específicamente de corrientes convectivas, juega un rol fundamental. Finalmente reflexiona acerca de las relaciones entre los conceptos y el caso presentado, y las oportunidades de aprendizaje que se presentan junto con las responsabilidades de los(as) educadores(as).

Palabras clave: Diseño reflexivo, modelos análogos, fenómenos ambientales, arquitectura, aprendizaje.

Abstract

In the seminal vision of Donald Schön about the design process, this is defined as a conversation between the designer and the materials of a situation. Later, Nigel Cross would add that modeling is the language of that conversation par excellence. In the light of these ideas, this descriptive article discusses the role of analog models in enabling and enhancing reflective design and the inclusion of *environmental topics*, usually absent from the initial architectural design studios. To illustrate the potential that modeling has in these cases, a first-year studio exercise in which modeling of heat, specifically of convective currents is crucial, is shown. Finally, the authors reflect on the relationship between concepts, the

¹ ricardo.martinez@usach.cl

² david.cabrera@usach.cl

³ diego.vascoc@usach.cl

example presented and on the learning opportunities that arise together with the responsibilities of educators.

Keywords: Reflective design, analog models, environmental phenomena, architecture, learning.

INTRODUCCIÓN

El diseño es una travesía de descubrimiento

Schön

En la actualidad un número creciente de escuelas de arquitectura manifiesta una renovada preocupación por la incorporación de variables ambientales en los proyectos que desarrollan sus estudiantes, o tienen alguna instancia en sus currículos donde se abordan, sin embargo, aún es posible constatar una resistencia a la integración temprana de tales variables en los procesos de diseño (González, 2013).

En orden a paliar este problema, quienes tenemos el rol de educadores(as) hemos tendido a adelantar el momento en que a los(as) estudiantes deben *aplicar* estas variables, cuyo conocimiento les ha sido impartido previamente en asignaturas teóricas. A primera vista, esto parece aconsejable, pero debido a que las dificultades siguen existiendo, es oportuno preguntarse si la lógica de *aplicación de conocimiento*, que supone dos momentos separados en el proceso educativo -el primero cuando el estudiante recibe el conocimiento, y el segundo cuando lo aplica- es siempre beneficiosa para que esta integración ocurra de manera natural.

De acuerdo con el pensamiento del filósofo norteamericano Donald Schön (1983) esta lógica, que exacerba la división entre *conocer* y *actuar*, desaprovecha una cualidad propia del diseño para producir aprendizajes profundos, que es su naturaleza intrínsecamente reflexiva. Comprender tal naturaleza del diseño, actividad central de nuestra disciplina, parece ser una precondition clave para que la integración de variables ambientales encuentre menos resistenciaⁱ.

EL DISEÑADOR REFLEXIVO DE SCHÖN

En la visión clásica de cómo un arquitecto diseñador opera y que, aunque idealizada, ha sido la visión aceptada desde comienzos del Renacimiento hasta la cúspide del Movimiento Moderno en el siglo pasado, este era capaz de crear algo *ex nihilo*. De acuerdo con Alberti (1404-1472), un arquitecto diseñador podía proyectar sobre papel, es decir dibujar, una imagen geométrica concebida íntegramente en su mente “sin recurrir a nada material” (Lang, 1965). El origen de cualquier diseño, por lo tanto, estaba dentro de su cabeza, y desde allí se proyectaba unidireccionalmente a un dibujo (*disegno*) o a un modelo. Lo que hacía prodigioso este acto -que en lenguaje más contemporáneo podríamos llamar de procesamiento mental interno-, era que ocurría, al menos teóricamenteⁱⁱ, sin retroalimentación desde los dibujos y modelos y, a través de ellos, desde la situación con la cual el diseñador se enfrentaba.

Cinco siglos después de Alberti, Donald Schön, es quien ha descrito la actividad de diseñar probablemente de la manera más opuesta a esta descripción clásica. Si en esta última, el diseñador lleva a cabo lo que podría ser metafóricamente un *monólogo*, en la descripción de Schön (1983) el(la) diseñador(a) establece un *diálogo* con su situación de diseño, seleccionando algunos de sus componentes, a los cuales les habla y, sobre todo, los escucha. Este hablar y escuchar recíproco entre el(la) diseñador(a) y la situación problemática y cambiante que este(a) enfrenta es lo que caracteriza al diseño como una actividad esencialmente reflexiva. Schön no se refiere a la reflexión como sinónimo de pensamiento, aunque no lo excluye, sino como una literal dinámica de reflejos -reflexiones- que se produce entre el diseñador y la situación. El diseñador que Schön describe es reflexivo no solo porque piensa, que es una condición básica para reflexionar, sino porque su hacer-pensar evoluciona a la par de como evoluciona la situación que él(ella) enfrenta. Coincidentemente, otros autores sostienen que el diseñador refleja sucesivamente la solución en el problema y viceversa, en un proceso en que ambos elementos coevolucionan (Dorst & Cross, 2001). En definitiva, en lugar de proyectar o imponer una solución completamente premeditada sobre la situación, el(la) diseñador(a) establece una *conversación* metafórica con esta para llegar a una solución.

Aunque los planteamientos de Schön están influidos por el pensamiento de su maestro John Dewey, existe una diferencia fundamental con este, que es relevante en el contexto de este artículo. Si para Dewey la reflexión en cualquier disciplina ocurre en una pausa temporal fuera de la práctica y utiliza el lenguaje de la ciencia, para Schön la reflexión ocurre indisolublemente ligada a la práctica disciplinar y a su lenguaje. Incluso cuando se abordan temas científicos, Schön observa que el diseñador no adopta un lenguaje que le es ajeno, sino que se mantiene fiel a las formas de indagación propias de su disciplina (Waks, 2001).

EL LENGUAJE DE LA CONVERSACIÓN

Si el proceso de diseño es metafóricamente una *conversación* entre el diseñador y la situación que enfrenta, cabe preguntarse ¿cómo el diseñador le habla a la situación? Y ¿cómo la situación puede responder? Al respecto existe un consenso entre varios autores en el sentido de que tal conversación ocurre *mediada* por modelos de la situación, o porciones de esta, y que su elaboración durante el proceso de diseño cumple un rol fundamental e insustituible (Schön, 1983; Lawson, 2004; Cross, 2010; Dunn, 2007).

Nigel Cross (2010) es el más enfático al afirmar que el modelado es el lenguaje del diseño por excelencia y, como tal, está ubicado “en el centro de la disciplina”. Una persona, afirma, puede “desarrollar habilidades en este lenguaje equivalentes a las habilidades en el lenguaje de las ciencias (los números) y en el lenguaje de las humanidades (las letras)”.

MODELOS EXPLORATORIOS

La práctica de hacer modelos constituye una larga tradición en Arquitectura, y en el ámbito de la enseñanza disciplinar es una de las actividades más

habituales que podemos encontrar en el taller. Sin embargo, no todo lo que llamamos modelo sirve para potenciar un proceso de diseño reflexivo.

Ubicados en extremos opuestos en este propósito se encuentran, por un lado, los modelos de presentación de final de proyecto (maquetas), y por otro, los modelos exploratorios o de proceso. Si ocupamos la metáfora de Schön, los primeros son el registro estático de una conversación que ha concluido, mientras los segundos son la materialización de una conversación en curso.

Un ejemplo histórico célebre de modelo exploratorio es el modelo colgante de cuerdas y sacos de arena, que Antoni Gaudí ideó para estudiar complejos problemas de estática y geometría dentro de las limitaciones de la mampostería en piedra, de la iglesia no construida sobre la cripta de la Colonia Güell (Figura 1). Catalogado por Collins (1971) como una “máquina de proyectar”, este modelo permitió a Gaudí discriminar una combinación de fenómenos -masas, gravedad y geometría- con los cuales pudo *conversar* para arribar a una solución. El modelo en su estado final no fue preconcebido por el arquitecto, sino que fue emergiendo en y de esa *conversación*. Este caso también es consistente con la visión de Schön en el sentido de que los diseñadores no abandonan la forma de indagación que les es propia, incluso cuando exploran territorios desconocidos.

Figura 1: Modelo colgante de cuerdas, pequeños sacos de arena y papel de seda. Antoni Gaudí. Fuente: Puig Boada, 1976



El modelo exploratorio propone una analogía científica, de ahí que pueda llamárselo *análogo* en algunos casos, cuyo fin fundamental es permitir la mencionada *reflexión* de quien diseña.

Respecto del rol de los modelos exploratorios en la educación de los arquitectos, Dunn (2007) sostiene que entre estos y el(la) estudiante que los elabora se produce una de las *ecologías*ⁱⁱⁱ centrales del ambiente de aprendizaje disciplinar. Tal ecología se basa en gran medida en la relación física corporal y cognitiva entre el(la) estudiante y los modelos que construye y manipula.

Hay que tener en consideración que mucha de la información en los modelos existe como tal solo cuando el(la) estudiante puede percibirla mediante exploración sensorial. En este sentido es relevante que el(la) estudiante pueda, por ejemplo, sostener el modelo con sus manos y girarlo para poder observarlo desde todos los ángulos necesarios, o mostrarlo a otras personas mientras lo gira, lo acerca o aleja con sus brazos. También puede, en lugar de mover el modelo, desplazarse al rededor de este, inclinándose o alzándose para obtener diferentes ángulos de visión. Esta información que el(la) estudiante adquiere de manera activa con su cuerpo puede incluir la exploración de aspectos tales como una posible resistencia o debilidad en el material del cual está hecho el modelo, mediante el tacto de su superficie o la presión que puede ejercer sobre este.

Desde el punto de vista *reflexivo* o *conversacional* que plantea Schön, es aún más relevante que el(la) estudiante pueda modificar el modelo y que esta modificación se pueda hacer con facilidad. Esta es una característica propia de los modelos exploratorios que pueden ser intervenidos de múltiples maneras, particularmente en etapas tempranas del proceso de diseño; eventualmente pueden ser cortados, plegados, estirados, torcidos, etc. Dunn (2006) utiliza el término *affordances*, acuñado por Gibson (1979), para referirse a esta capacidad del modelo de ofrecer oportunidades de acción al (la) estudiante^{iv}, en contraste con la escasa posibilidad de establecer una dinámica conversacional y reflexiva entre este(a) y un modelo de representación final perfectamente ejecutado.

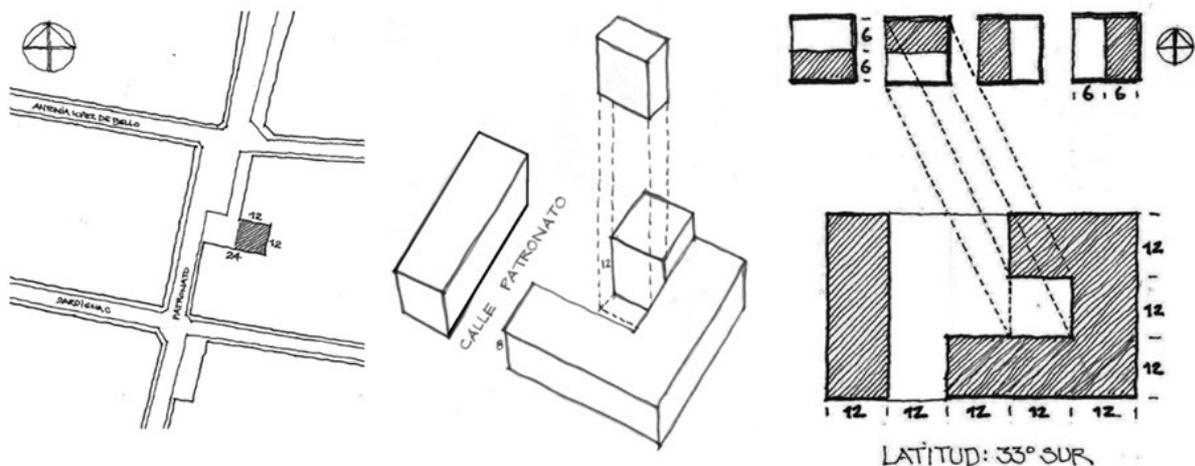
Tales modelos exploratorios físicos, como mencionamos al comienzo de esta sección, son usados habitualmente por los(las) estudiantes para explorar aspectos como geometría, proporciones, articulaciones, emplazamiento, u otros. Sin embargo, los fenómenos ambientales relevantes en la experiencia del espacio son escasamente explorados mediante modelado físico. Con el fin de incorporar tales fenómenos en el proceso de diseño desde su inicio, los autores de este artículo han desarrollado una serie de encargos de taller que requieren modelado de este tipo. Para ilustrar este artículo se ha seleccionado un caso en que el objeto de modelado son corrientes convectivas producidas a partir de fuentes de calor. El contexto de esta experiencia pedagógica es el Taller de Diseño Arquitectónico de primer año (TAA1) de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Santiago de Chile.

MODELADO DE CORRIENTES CONVECTIVAS EN EL TAA1

El ejercicio que acá se describe en sus aspectos más relevantes se enmarca en una secuencia de encargos de características similares en su metodología. En cada uno, los estudiantes tuvieron la oportunidad de abordar un problema de diseño arquitectónico a partir de la exploración y comprensión de un fenómeno ambiental específico. Los dos encargos anteriores involucraron el rol de la luz natural y el de los flujos de aire en la experiencia del espacio, respectivamente. Este tercer encargo consistió en diseñar una cafetería/panadería ubicada en un predio urbano, entre muros medianeros. Como programa, se debía contemplar las siguientes tres zonas: 1. Zona de preparación de pan, donde debían estar situados dos hornos eléctricos de acuerdo a especificaciones; 2. Zona de venta; y 3. Zona de cafetería. (Los baños solo fueron planteados como una zona húmeda sin ahondar en su resolución funcional).

Con el fin de concentrar la atención de los estudiantes sobre el fenómeno del calor, todos ellos debían plantear la organización de los espacios habitables dentro de un volumen simple de 12 x 12 x 6 m, el cual debía ser orientado en una de cuatro opciones propuestas por los profesores (figura 2).

Figura 2: Ubicación del predio en el barrio (izquierda), el volumen en el predio (centro), y las cuatro posibles opciones de orientación del volumen (derecha).

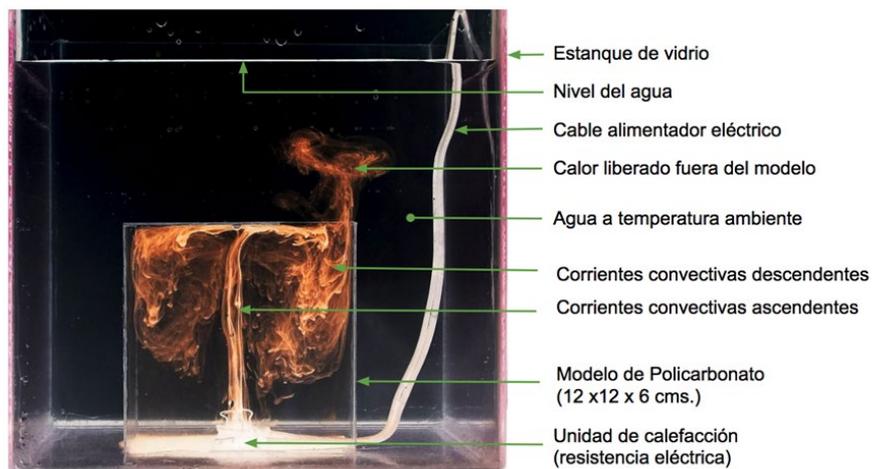


Junto con resolver la funcionalidad básica y ergonomía del proyecto, cada estudiante debía proponer una configuración de espacios tal que durante el invierno permitiera aprovechar el exceso de calor que producen los hornos, distribuyéndolo, junto con el aroma del pan, en las diferentes zonas del proyecto. Adicionalmente, debía proponer una estrategia inversa para el verano, que permitiera disipar el calor a la atmósfera y mantener frescos los espacios habitables. En paralelo a estos requerimientos, los estudiantes debían abordar la relación con el contexto, cuestión que había sido tratada en los ejercicios previos durante el año, pero siempre teniendo en consideración que el énfasis en esta oportunidad era respecto de la dinámica térmica.

Etapa preliminar

La etapa preliminar, que duró cuatro semanas, se planteó de forma deliberadamente prescriptiva y apuntó a familiarizar a los estudiantes con el comportamiento de las corrientes convectivas a través del uso de equipamiento de bajo costo (Figura 3), de acuerdo con un método de modelado que acompañó en todo momento el proceso de diseño posterior. Este método se basa en que el aire y el agua -ambos fluidos- poseen propiedades mecánicas análogas^v, pero con diferente densidad y viscosidad. Con el fin de darle validez científica, el método de modelado fue comparado con software CFD del Departamento de Mecánica de nuestra universidad, resultando razonablemente fiable para los objetivos de un ejercicio de diseño arquitectónico de primer año.

Figura 3: Modelado inicial de corrientes convectivas. Estudiante: María Ignacia Lastra.



Los componentes de este equipamiento fueron los siguientes: estanque de vidrio incoloro de 18x24x24 centímetros (Figura 4); agua limpia a temperatura ambiente, en la cual se sumergían modelos a escala hechos de policarbonato transparente (Fig. 5); unidad de calefacción (resistencia eléctrica)^{vi}; pigmento marcador (para hacer visibles las corrientes convectivas). A esto se sumó una cámara de video montada sobre un trípode para hacer los registros de cada experimento.

Figura 4: Un estudiante prepara el registro en video de uno de los experimentos. A la izquierda se ve el estanque de vidrio.

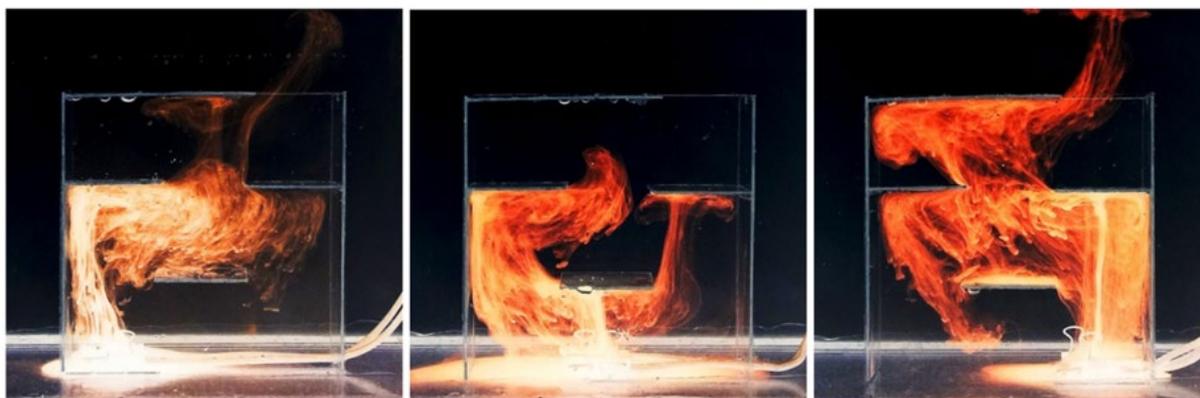


Figura 5: Modelo sumergible de policarbonato transparente.



En este primer acercamiento, los estudiantes en equipos de trabajo de cuatro integrantes indagaron acerca del comportamiento de las corrientes convectivas en un modelo similar para todos, probando tres posiciones de la unidad de calefacción. De esta manera, fue posible registrar los patrones térmicos determinados en cada posición, los que a su vez determinaban diversas zonas de mayor o menor temperatura. El objetivo de esta primera parte del ejercicio fue descubrir la relevancia de la posición de la fuente de calor, puesto que, aunque la configuración geométrica de espacios y aberturas era la misma, las trayectorias que describían los flujos resultaban ser manifiestamente diferentes (Figura 6). El hecho de que todos los estudiantes trabajaran con un modelo similar permitió que los procedimientos pudieran ser comparados, ayudando a comprender que los patrones térmicos no eran azarosos, sino que seguían determinadas leyes termodinámicas. Este primer paso permitió observar además que los flujos convectivos se podían conducir o *domesticar* dentro de ciertos límites, cuestión fundamental para usar el calor como material de diseño.

Figura 6: Tres patrones térmicos distintos en una misma configuración geométrica de espacios. Estudiantes: María Ignacia Lastra, Valentina Roco, Chiara Massaccesi, Catalina Leiva.



Desarrollo

Luego de la etapa preliminar, cada estudiante quedó en libertad para plantear una hipótesis de diseño propia, con un probable patrón geométrico del flujo de calor que recorrería las tres zonas requeridas en el encargo. Esta hipótesis inicial, que se expresó por medio de dibujos, debió probarse experimentalmente. En el primer ejemplo mostrado acá (Figuras 7,8,9 y 13), la estudiante propuso una configuración de espacios en tres niveles, con la fuente de calor ubicada al centro del nivel inferior. Su hipótesis térmica para la época invernal (Fig. 7) fue que se producirían tres zonas -A, B y C- relativamente diferenciadas. Las pruebas experimentales posteriores ^{vii} confirmaron parcialmente esta hipótesis (Fig. 8).

En general, salvo algunas excepciones que requirieron modificaciones radicales, para la mayoría de los(as) estudiantes se trató de ajustes sucesivos. En esta etapa, que duró seis semanas, se trabajó simultáneamente con dibujos, modelos de policarbonato sumergibles y modelos convencionales de alambre, cartón y otros materiales a la misma escala (Fig. 9).

Figura 7: Hipótesis dibujada de corrientes convectivas. Estudiante: María Ignacia Lastra.

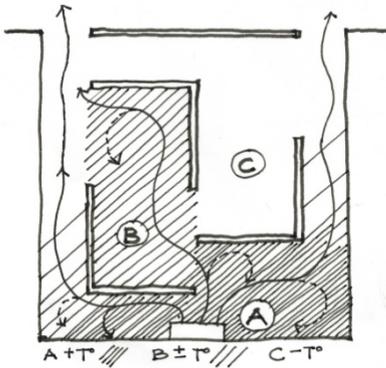


Figura 8: Fotograma de modelado de corrientes convectivas. Estudiante: María Ignacia Lasta

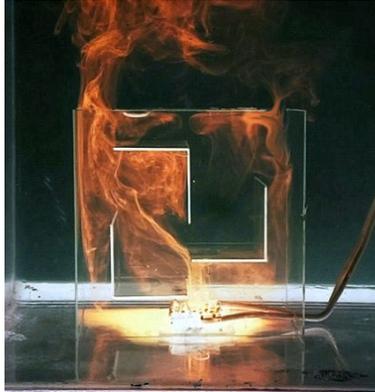
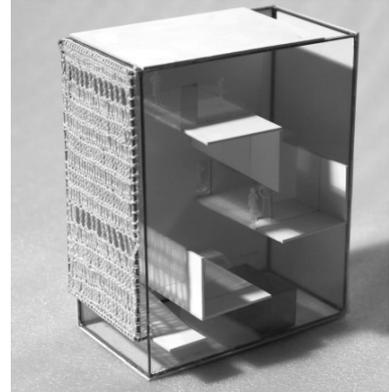


Figura 9: Modelo de alambre, cartón, policarbonato e hilo tejido. Estudiante: María Ignacia Lastra



Esta etapa resultó particularmente demandante para los estudiantes y profesores pues no solo se trataba de hacer que la dinámica térmica funcionara desde un punto de vista puramente mecánico, sino que debía hacerlo en relación con la experiencia de las personas que habitaban el proyecto en invierno y en verano. En este momento se definieron, además, los aspectos funcionales de distribución de espacios y recorridos, que debían coordinarse recíprocamente con la dinámica térmica. Adicionalmente, de acuerdo con la posición y orientación de cada proyecto en el terreno, se debió dar una respuesta satisfactoria a las necesidades de protección solar y de calidad lumínica de los diversos espacios interiores.

En paralelo al Taller, la asignatura de Laboratorio colaboró con este ejercicio, familiarizando a los estudiantes con conceptos básicos de transferencia de calor y algunos principios de flujos convectivos. El segundo ejemplo mostrado acá, (Fig. 10,11,12 y 14) desarrolló su hipótesis, basándose en el efecto chimenea (*stack effect*) lo cual le permitió dar respuesta de manera eficiente a los requerimientos en invierno (fig. 10) y en verano (fig. 11). En este caso, al igual que en ejemplo anterior, el estudiante trabajó simultáneamente con un modelo tradicional de alambre, cartón y policarbonato (fig. 12 y 14).

Figura 10: Patrón Térmico en invierno. Estudiante: Juan Pablo Díaz.



Figura 11: Patrón Térmico en verano. Estudiante: Juan Pablo Díaz.

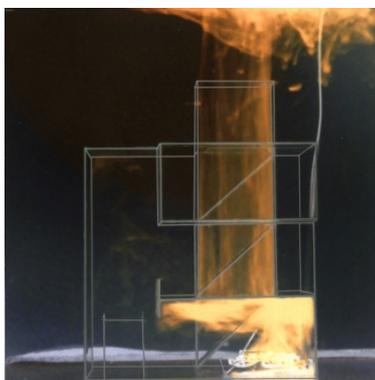


Figura 12: Modelo convencional de alambre, cartón y policarbonato. Estudiante Juan Pablo Díaz.



Figura 13: Modelo final en su contexto urbano simplificado.
Estudiante: María Ignacia Lastra

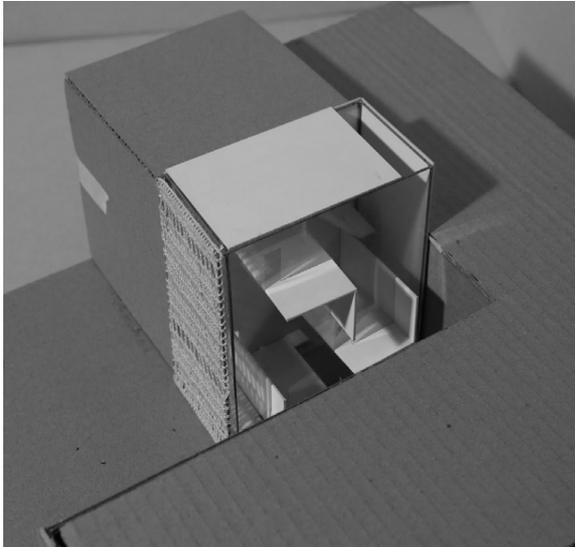
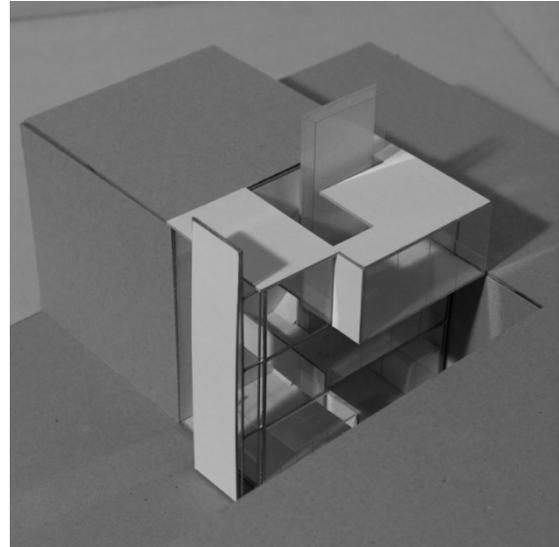


Figura 14: Modelo final en su contexto urbano simplificado.
Estudiante: Juan Pablo Díaz



RELACIONES Y REFLEXIONES

Escuchar - hablar

Como vimos en las primeras secciones, varios autores coinciden en que dentro de las características esenciales del proceso de diseño está su carácter *conversacional*, el cual está sostenido sobre procesos de modelado. Quienes conversan a través del modelado son el(la) diseñador(a)-estudiante y algún componente del problema que enfrenta. En esta tarea, determinados modelos son más idóneos para algunas conversaciones, y menos para otras. Si, por ejemplo, el(la) estudiante necesita *conversar con la geometría* de un proyecto, un modelo de alambre puede ser más propicio que uno de cartón. Quizá incluso, baste solo con dibujarlo. Si se propone conversar con la luz y la sombra de un proyecto, un modelo de cartón expuesto a una fuente luminosa puede ser suficiente y apropiado. Pero ¿de qué depende tal idoneidad? A partir de experiencias como la descrita en este artículo, y otras similares en que han participado los autores, sostenemos que esta depende efectivamente, como lo anticipó Schön (1992), de la capacidad del modelo para escuchar y hablar.

Su capacidad de *escuchar* está determinada directamente por las oportunidades de acción que el(la) estudiante puede detectar en el modelo. Estas acciones son, en el contexto conversacional del proceso de diseño, las maneras en que el estudiante hace planteamientos. En consecuencia, este rasgo apunta a una condición de docilidad o maleabilidad que el modelo debe tener ante la manipulación y modificación durante el proceso de diseño, pues al igual que en una conversación genuina, esta debe desarrollarse con fluidez y a un ritmo que, en el ámbito de la educación formal, está usualmente

impuesto por los plazos de entrega. Un modelo de yeso, por ejemplo, puede ser muy poco receptivo -sordo, en sentido metafórico- para explorar variaciones geométricas en un tiempo acotado. Pero puede resultar muy adecuado -receptivo para escuchar y elocuente para hablar- en orden a explorar las restricciones constructivas de un material de características mecánicas parecidas, como el concreto. En consecuencia, el material con el cual un modelo está hecho resulta crucial para definir su capacidad de escuchar y hablar; y así como puede favorecer la reflexión en los términos planteados en este artículo, puede empujar el proceso de diseño a un monólogo, si su elección es herrada.

En el caso del modelado de corrientes convectivas descrito, aunque su capacidad de escuchar y hablar está parcialmente limitada por la complejidad del objeto de modelado, resultó receptivo a modificaciones claves para la comprensión de las corrientes convectivas, tales como el cambio de posición de la fuente de calor mientras se mantuvo una misma configuración de espacios, que en el desarrollo de la etapa preliminar del proyecto fue fundamental.

Asimismo, la capacidad de hablar del modelo está determinada por su capacidad de revelar algo. Este es un rasgo de gran relevancia en términos educativos, en el sentido de que el modelo se transforma en un instrumento para mostrar “una porción del ambiente”, para que sea aprehendida directamente por el estudiante, no necesariamente enseñada por el profesor, como plantea Ingold (2000). De igual manera, en el caso descrito, los materiales especificados para el modelado fueron determinantes, así como los elementos del equipo de experimentación. El policarbonato, del cual fueron hechos los modelos sumergibles, el estanque transparente y el pigmento marcador, contribuyeron a revelar las corrientes convectivas en su naturaleza más compleja. Fue posible verlas ascender y recorrer los recintos siguiendo geometrías determinadas, y descender cuando la temperatura en ellas fue menor. Su visibilidad permitió, además, que fueran registradas por medio de video, haciendo posible alterar en su reproducción el tiempo en que la dinámica del calor ocurría y de esta forma aumentar la elocuencia metafórica del modelo.

Al igual que en una conversación genuina, los términos en que ocurre el modelado deben ser fiables. En el caso del TAA1, el método de modelado experimental ideado por los profesores buscó acercarse lo más posible a la realidad dinámica del fenómeno que se exploraba, y si bien se sustituyó el medio aéreo por uno líquido, se buscó garantizar que el comportamiento de las corrientes convectivas en el agua fuera análogo a su comportamiento en el aire, lo cual fue corroborado por profesores del Departamento de Mecánica de la universidad.

Claro está que no se buscó una exactitud científica -que en este contexto carece de sentido- sino una aproximación verosímil al comportamiento del fenómeno en los espacios habitables. Se trató de que el modelo entregara información razonablemente confiable para estudiantes de primer año que les permitiera tomar decisiones de diseño.

Explorar- Descubrir

La meta del proceso de diseño en el sentido reflexivo planteado por Schön es la de explorar para descubrir una solución, en contraste con proyectarla. Pero para activar este proceso en el contexto educativo que hemos descrito, fue necesario que los profesores idearan un método que literalmente desocultara la dinámica invisible del calor mientras se desplegaba por los espacios que los mismos estudiantes habrían de concebir y construir.

Junto con hacerse visible el fenómeno frente a ellos(as), este se hizo manipulable. Solo a partir de ese momento, el(la) estudiante pudo hacer planteamientos y preguntas al modelo, modificando las configuraciones de espacios y las posiciones y tamaños de las aberturas, ante lo cual este pudo *contestar* efectivamente. Desde un punto de vista experimental, cada planteamiento constituyó una hipótesis que pudo ser corroborada o descartada en ese nivel, lo cual permitió ir avanzando gradualmente sobre la base de sucesivos descubrimientos.

Una profundización de la comprensión del fenómeno se produjo, además, gracias a los registros de video. Este recurso permitió observarlo más detenidamente, y cuantas veces fue necesario sin tener que preparar el *rig* experimental cada vez. Gracias a la alteración del tiempo de reproducción de los videos, también fue posible descubrir comportamientos no observables en tiempo real.

Finalmente, el descubrimiento más significativo en términos de integración de fenómenos ambientales en el proceso de diseño fue el de la dependencia recíproca entre el fenómeno del calor y la forma contenedora. Lo que se constituye, por tanto, no es una secuencia de procesos estancos -como pudiera entenderse la exploración de la forma, por un lado, y su desempeño cuantitativo ambiental, por otro- sino un único proceso de desocultamiento progresivo, que va produciendo más información sobre el mismo objeto de estudio cada vez.

CONSIDERACIONES FINALES

La experiencia del modelado de calor que ilustra este artículo nos permite corroborar la fortaleza y utilidad pedagógica de la metáfora del diseño como conversación planteada por Schön hace más de 30 años y robustecida por Cross (2010) más recientemente. Nuestro aporte ha consistido en testear su propuesta en lo que podríamos denominar, también metafóricamente, temas de conversación ambientales emergentes en la enseñanza de la arquitectura. Observamos que este es un camino promisorio en la tarea de integrar las variables ambientales en el proceso de diseño de los(as) estudiantes, aunque involucra un esfuerzo y dedicación considerables de parte de los educadores.

También, en algunos casos, involucra un cambio de mentalidad. Se trata de dejar de ver el proceso de diseño como el momento en que los estudiantes *aplican* un conocimiento previamente adquirido, para pensar en él como una fuente de conocimiento en sí misma.

Intentar que los estudiantes comprendan el rol de las variables ambientales a través de la incorporación de estas en la dinámica reflexiva del diseño puede parecer evidente, pero la manera en que esto debe hacerse no lo es

tanto. Esta tarea requiere entender la naturaleza reflexiva de la actividad de diseñar, y saber sobre qué se sostiene tal reflexión. En este sentido los aportes de los autores acá citados en la primera parte resultan iluminadores, a la par que entrañan responsabilidades para los profesores.

La preocupación por cómo se crean las condiciones para que los estudiantes puedan diseñar incorporando las variables ambientales de manera reflexiva, en lugar de cuándo deben ellos aplicar los conceptos ambientales previamente aprendidos en otro momento y lugar, implica trasladar desde el estudiante hacia el profesor del taller de diseño la principal responsabilidad de esta integración, asignando a este último la labor de orquestar las oportunidades de aprendizaje. Aun así, o quizá por esto mismo, el estudiante sigue siendo el principal actor de su aprendizaje, pues en su calidad de aprendiz de diseñador es invitado a participar como descubridor en lugar de mero aplicador.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por la DICYT de la Universidad de Santiago de Chile, a través del proyecto 091590MR "Disminución de carga térmica en recintos de uso académico mediante ventilación natural", por la transferencia de conocimiento y metodología de modelado para realizar las experiencias pedagógicas acá descritas.

Todas las figuras pertenecen a la colección de fotografías o dibujos de los autores excepto donde se indica la fuente.

REFERENCIAS

- Barab, S. A. & Roth, W. 2006. Curriculum-Based Ecosystems: Supporting Knowing From an Ecological Perspective. *Educational Researcher*, **35**(5), 3-13. <https://doi.org/10.3102/0013189X035005003>
- Collins, G. R. 1971. Antonio Gaudí and the uses of technology in modern architecture. In: Civil engineering: History, heritage and the humanities, Selected papers from the First National Conference. Princeton, N.J.: Princeton University, vol. I.
- Cross, N. 2010. *Designerly ways of knowing*. Londres: Springer London. 141 p.
- Dorst, K. & Cross, N. 2001. Creativity in the design process: Co-evolution of problem-solution. *Design Studies*, **22**(5), 425-437. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(01\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00009-6)
- Dunn, N. 2007. *The ecology of the architectural model*. Oxford: Peter Lang. 300 p.
- Gibson, J. J. 1979. *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin. 352 p.
- González, A. 2013. *Integración Curricular de la Sostenibilidad en la Formación de Arquitectos en América Latina*. Concepción, Chile. Tesis de Doctorado. Universidad del Bio Bio.
- Lang, S. 1965. De Lineamentis: L. B. Alberti's Use of a Technical Term. *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, **28**, pp.331-335. <https://doi.org/10.2307/750683>
- Lawson, B. 2004. *What designers know*. Oxford: Elsevier/Architectural Press. 127 p.
- Puig Boada I. 1976. La Iglesia de la Colonia Güell. Barcelona: Lumen.

Schön, D. A. 1983. *The reflective practitioner: How professionals think in action*. New York: Basic Books. 384 p.

Schön, D. 1992. Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. *Research in Engineering Design*, 3(3), pp.131-147.
<https://doi.org/10.1007/BF01580516>

Villecco, M., 1977. Energy Conscious Design in Schools of Architecture. *Journal of Architectural Education*, 30(3), 6-10.
<https://doi.org/10.1080/10464883.1977.10758103>

Waks, L.J., 2001. Donald Schon's Philosophy of Design and Design Education. *International Journal of Technology and Design Education*, 11(1), pp.37-51.
<https://doi.org/10.1023/A:1011251801044>

NOTAS

ⁱ Muy tempranamente, en su revelador informe "Energy Conscious Design in Schools of Architecture", Marguerite Villecco (1977) sostuvo que la incorporación de cualquier nuevo paradigma en la enseñanza de la arquitectura debería hacerse respetando las prácticas y filosofía de la disciplina -dentro de las cuales el diseño es una práctica y filosofía central- y no desde fuera, de lo contrario encontraría una resistencia permanente.

ⁱⁱ Los registros de varios arquitectos contemporáneos de Alberti muestran que estos frecuentemente necesitaron la retroalimentación de sus dibujos 'de proceso', sin embargo Alberti es taxativo en afirmar lo contrario.

ⁱⁱⁱ La idea de *ecología* está usada acá en consonancia con la aproximación ecológica al aprendizaje, corriente educativa que define al par estudiante-ambiente de aprendizaje, no como dos cosas dentro de las cuales el estudiante aprende lo que el ambiente le enseña, sino como una entidad unitaria que conoce y aprende. Para más información ver Barab, S. A., & Roth, W. (2006)

^{iv} James Gibson acuñó la palabra *affordances* para denominar las oportunidades de acción que un organismo puede detectar en porciones del ambiente, de ahí el apelativo "ecológico" en el trabajo de Dunn (2007).

^v A este respecto existen varios experimentos hechos por ingenieros y físicos estadounidenses en la década de 1950, de los cuales se han publicado videos de difusión para estudiantes de ingeniería y física de pregrado, realizados por The National Committee for Fluid Mechanics de los Estados Unidos. Ver, por ejemplo: <https://youtu.be/nuQyKGuXJOs>

^{vi} El video tutorial para la fabricación del calefactor se puso a disposición de los estudiantes en YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=c5CMACcJQCQ&feature=youtu.be>

^{vii} Enlace a video time-lapse de prueba experimental <https://youtu.be/uWFjIOiqOqA>

Submetido: 16/05/2016
Aceito: 27/09/2018