

# 3. Integración del conocimiento de constructividad en el diseño

---

## § 3.1. Bases para la integración de conocimiento de constructividad en el proceso de diseño

---

Los sistemas y mecanismos de integración de conocimiento de constructividad se fundamentan en la concepción del propio proceso de diseño. Visiones lineales del diseño —propias de una concepción administrativa del proceso— derivan en mecanismos de integración estática acumulativa del conocimiento. En cambio, visiones del diseño como un proceso cíclico derivan en mecanismos de integración dinámica sistémica, usualmente más complejos, pero más efectivos.

No existe total acuerdo en una descripción precisa o acabada del proceso de diseño en arquitectura. Diferentes teorías para explicarlo han sido propuestas, pero son discrepantes entre ellas, y por lo tanto, es posible argumentar que son teorías discutibles o al menos, que no describen la totalidad del proceso adecuadamente (Brawne, 1995; Formoso *et al.*, 1998; Reymen, 2001; Gray y Hughes, 2001). Tomando en consideración los principales puntos de acuerdo en la literatura, y con el fin de construir una definición general operativa para la discusión de los mecanismos de integración de conocimiento de constructividad, en este documento se entiende el (proceso de) diseño como una *“una serie de opciones y decisiones (Lam et al., 2006) que tienen por propósito equilibrar distintos objetivos de proyecto (Ferguson, 1989), semicompetitivos entre sí (Nicholson, 1996), a fin de proveer una solución efectiva (Sebastian, 2005) a un conjunto particular de necesidades del cliente, usuario y del propio proyecto”* (Allen, 2002) (figura 13).

Esta definición puede ser comprendida más fácilmente al revisar de su aplicación en la práctica. En general, el proceso de diseño (de un edificio) comienza cuando el cliente establece una serie de

requerimientos que consecuentemente definen una serie de objetivos semi-competitivos entre sí: para aumentar uno quizás sea necesario disminuir otro (funcionalidad, costo, calidad ambiental, valores estéticos, impacto urbano, etc.). Durante el proceso de diseño, el arquitecto analiza el problema, evalúa alternativas y toma decisiones intentando equilibrar estos objetivos y optimizar el resultado final de modo de cumplir —con el máximo nivel de efectividad posible— todos los requerimientos del cliente, del usuario y del propio proyecto.

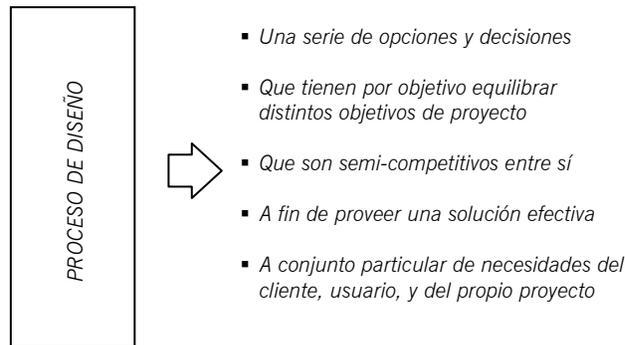


Figura 13:  
Definición del proceso  
de diseño

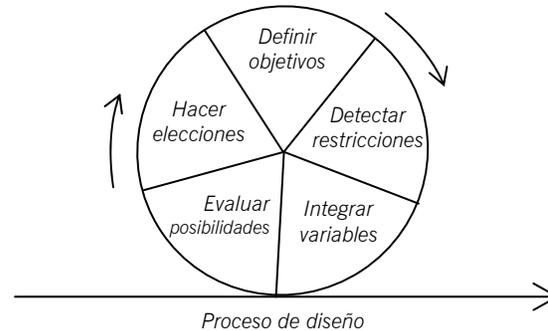
Tradicionalmente, este proceso se ha entendido como una secuencia de etapas consecutivas que progresivamente evolucionan desde fases más “conceptuales” (e.g. partido general) a otras más “concretas” (e.g. detalles constructivos). Por ejemplo, en el modelo tradicional chileno se distinguen como etapas principales: (1) croquis, (2) anteproyecto (3) planos generales, (4) planos de detalles y de construcción y especificaciones técnicas (CACH, 1997); y en forma similar, en el modelo americano se distinguen: (1) etapa de planificación (*planning phase*), (2) diseño conceptual (*conceptual design*), (3) diseño esquemático (*schematic design*), (4) desarrollo de diseño (*design development*), (5) y documentos de construcción (*construction documents*). Bajo este esquema, regularmente se asume que conocimiento de construcción es necesario principalmente en las etapas finales (desarrollo de detalles y documentos de construcción), cuando el diseño se hace más “concreto” y debe ajustarse a la realidad.

Sin embargo, en realidad estas etapas corresponden a una *división administrativa* del proceso de diseño que no se corresponden directamente con el *proceso creativo* de diseño (Formoso *et al.* (1998). El proceso creativo de diseño es diferente: tiene una organización independiente pero conectada con el proceso administrativo. La diferencia fundamental es que mientras el proceso administrativo es lineal, el proceso de diseño es cíclico.

El proceso creativo de diseño respeta un mecanismo básico de análisis ↔ propuesta que incluye (1) definir objetivos, (2) detectar restricciones, (3) integrar variables, (4) evaluar posibilidades y (5)

hacer elecciones (figura 14). Sin embargo, este mecanismo, muy lejos de realizarse una sola vez en progresivas etapas (como parecería sugerir la división administrativa lineal del proceso), se repite varias veces en forma cíclica a lo largo de todo el proceso. Los resultados de cada iteración alimentan a la siguiente. Aunque por definición este proceso es en teoría infinito (siempre se puede volver a repetir el ciclo y mejorar el diseño), en la práctica la definición de cierre de proyecto se produce cuando los resultados de un ciclo o iteración cumplen con el conjunto particular de necesidades del cliente, usuario, y del propio proyecto.

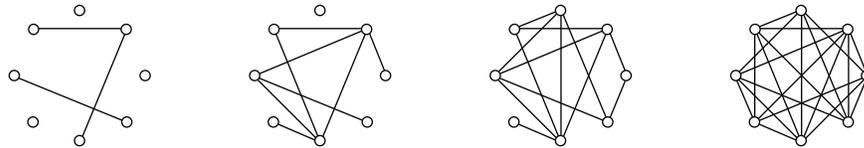
Figura 14:  
Ciclo de análisis  
propuesta en el proceso  
creativo de diseño



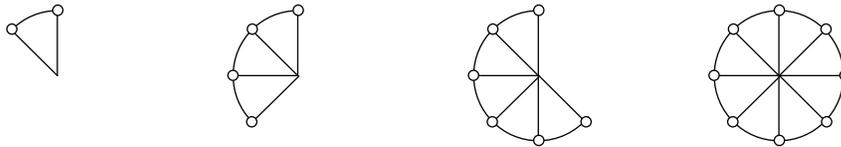
En otras palabras, en vez de diseñar resolviendo linealmente una variable después de otra, en realidad desde un primer momento se enfrenta el problema de diseño con todas las variables en juego, pero enfatizando un grupo distinto en cada ciclo. Las decisiones anteriores se revisan constantemente, repitiendo el mismo ciclo básico de análisis-propuesta varias veces con diferente nivel de complejidad. Progresivamente, nuevos participantes y restricciones aparecen en el proceso (Vanegas *et al.*, 1988; Hegazy *et al.*, 1998; Reymen, 2001). A diferencia de lo que un modelo lineal sugiere, en un modelo cíclico las decisiones de diseño nunca son completamente definitivas, e incluso las decisiones más tempranas pueden volver a revisarse y modificarse según sea necesario dada la complejidad de las otras decisiones (o complejidad del sistema en total).

Esta diferenciación es fundamental para comprender el momento necesario de incorporación de conocimiento de constructividad al diseño. La figura 15 representa la graficación de dos modelos teóricos del incorporación de conocimiento al proceso de diseño que pueden desprenderse de los dos visiones anteriores: el primero, aquí denominado *modelo lineal acumulativo*, derivado de una concepción lineal del proceso de diseño, establece que en las primeras etapas resuelven las variables formales y espaciales y posteriormente en las etapas finales se resuelven las variables estructurales o constructivas. El conocimiento de constructividad, por lo tanto, aparece en las etapas intermedias o finales del proceso. El segundo modelo, aquí denominado *modelo sistémico enfático*, derivado de

una concepción cíclica del proceso de diseño, establece que todas las variables de diseño (formales, espaciales, estructurales, constructivas, etc.) existen desde un comienzo en un sistema integrado que progresivamente va incrementando en complejidad y en énfasis a lo largo de las etapas administrativas. El conocimiento de constructividad, por lo tanto, existe desde un primer momento en el diseño, pero su énfasis o función auxiliar en el proceso va cambiando según vaya aumentando en nivel de complejidad y el énfasis de diseño a lo largo del desarrollo del proyecto.



*Modelo sistémico enfático:* todas las variables existen desde el comienzo



*Modelo lineal acumulativo:* las variables van apareciendo en forma sucesiva

*Figura 15:*  
*Modelos sistémico*  
*enfático y lineal*  
*acumulativo.*

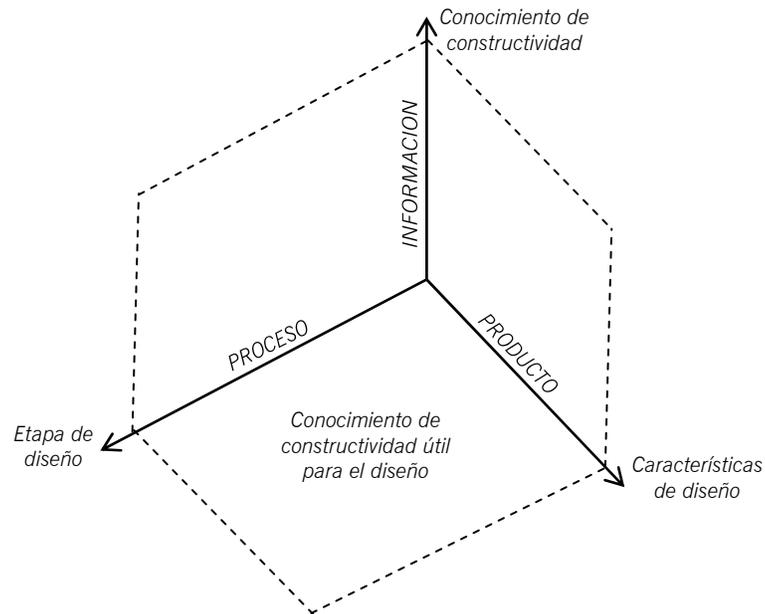
Por lo tanto, a diferencia de lo que la creencia generalizada establece, es un error sostener que el conocimiento relativo a los procesos de construcción deba incorporarse en las etapas finales de desarrollo de detalles o de documentos de construcción. La información de constructividad debe existir e integrarse desde las más tempranas etapas de diseño, pero variando su contenido, especificidad y complejidad de acuerdo al énfasis particular de la etapa de diseño. El conocimiento de constructividad lo que hace es agregar más variables al problema de diseño, haciéndolo más complejo, pero al mismo tiempo, permitiendo soluciones más exactas y precisas.

Desde este punto de vista, la principal condición que debe tener el conocimiento de constructividad para que pueda correctamente integrarse en el proceso de diseño, es este debe estar sincronizadamente organizado y formulado de acuerdo a las necesidades de información del arquitecto, el nivel de detalle del diseño y el estado de avance de desarrollo del proyecto (Fischer y Tatum, 1997; Fox *et al.*, 2002). De acuerdo a lo que el modelo sistémico enfático sugiere, la información útil es aquella que está disponible en el momento preciso y con la especificidad gradual adecuada para asistir las decisiones de diseño que son relevantes en cada uno de los ciclos o

iteraciones del proceso. En otras palabras, la información de constructividad debe estar ordenada siguiendo una matriz tridimensional que relacione (1) proceso de diseño (¿cuando se toma la decisión?), (2) producto de diseño (¿sobre qué se toma la decisión?) y (3) información específica de constructividad (¿qué hay que considerar para tomar la decisión?). El conocimiento de constructividad útil para el diseño se ordena a partir de las necesidades de información del arquitecto a medida que se toman las sucesivas decisiones de diseño durante el desarrollo de proyecto. Su ordenamiento debe seguir las etapas naturales del *proceso* de diseño (Fox *et al.*, 2002) y los niveles de detalle de lo que se esté diseñando, o *producto* de diseño (sistema, subsistema, componente, elemento) (Fischer y Tatum, 1997). Esta organización fundamental se denomina *modelo tridimensional de integración del conocimiento de constructividad* (figura 16).

En una escala más amplia de análisis, el mismo esquema es aplicable al proceso general de diseño (no sólo arquitectónico), siguiendo un ordenamiento del conocimiento de constructividad que también respete el flujo natural de información entre los distintos participantes del diseño del proyecto (arquitecto, ingeniero, especialistas) y sus diferentes decisiones de diseño.

Figura 16:  
Modelo tridimensional  
de integración de  
conocimiento de  
constructividad



## § 3.2. Mecanismos de integración del conocimiento de constructividad en el proceso de diseño

---

### § 3.2.1. Mecanismos de integración en el ambiente profesional

#### a. *Revisiones de expertos*

Es, por lejos, el mecanismo más utilizado en la industria para incorporar conocimiento de constructividad (Arditi *et al.*, 2002). Consiste en la revisión sistemática y exhaustiva del expediente de diseño por parte de un equipo de profesionales expertos en construcción, quienes basados en su propia experiencia y conocimiento tácito, prevén los problemas e informan a los diseñadores los puntos que requieren mejoramiento.

Se dividen en revisiones (1) *internas*, cuando el equipo que revisa el proyecto es el mismo que posteriormente lo construirá; o (2) *externas*, cuando el equipo que revisa el proyecto es diferente al equipo que lo construirá. Aunque evidentemente las revisiones internas son preferibles, pues cada equipo constructor tiene mecanismos de trabajo ligeramente diferentes y por tanto la revisión es más ajustada con lo que finalmente ocurrirá en obra, no siempre pueden realizarse. Por ejemplo, existen proyectos donde el equipo constructor no es conocido sino hasta cuando el diseño está terminado (e.g. licitaciones). Existen empresas dedicadas únicamente a la revisión externa de constructividad, que operan como consultores de los propios diseñadores o como agentes externos evaluadores, por ejemplo, como parte de los criterios de selección en un concurso público. Otra variante de revisión de expertos es la modalidad contractual de Diseño-Asistencia (o *Design-Assist*). Según esta, una empresa constructora es contratada por un mandante para un cierto proyecto con la condición que colabore durante el proyecto de diseño realizando análisis de constructividad proponiendo cambios y mejoras de diseño que optimicen el uso de recursos, tiempo y costo hasta llegar a un cierto nivel crítico de eficiencia previamente definido por las partes. Si no se cumple, la empresa es descartada.

La revisión de expertos es un mecanismo bastante ineficiente, de alto consumo de tiempo y trabajo. Dado que las revisiones necesitan tener el diseño con un nivel de desarrollo medio para poder evaluar los detalles relacionados con el proceso de construcción, obliga necesariamente a rehacer trabajo una vez emitidos los comentarios. De hecho, entre más avanzado el diseño, de mejor calidad y profundidad es la revisión de constructividad, pero también mayor es la cantidad de trabajo que potencialmente pueda presentar problemas y deba ser rehecho.

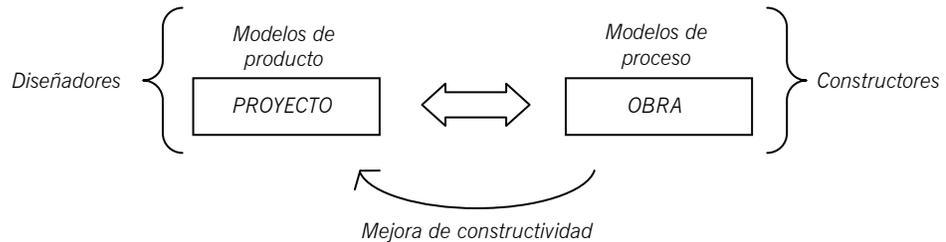
Otro aspecto negativo de las revisiones de expertos es que operan en un mecanismo esencialmente confrontacional, en cual una parte, en calidad de “experto”, revisa y corrige el trabajo de otro. Cuando este proceso no es bien llevado a cabo puede terminar en conflictos al interior del equipo (Glavinich, 1995) o, en el peor de los casos, animosidad entre participantes (Arditi *et al.*, 2002).

## b. Modelos

Los modelos representan uno de los métodos más antiguos para evaluar el grado de constructividad de los diseños. Desde que existen registros, los arquitectos han recurrido a versiones a escalas menores de sus diseños para testear y observar su comportamiento y resolución material. Existen dos tipos principales de modelos que operan como mecanismos de análisis e incorporación de constructividad: modelos de producto y modelos de proceso.

- (1) Los *modelos de producto* son aquellos donde lo que se simula es el objetivo físico y material. En otras palabras, lo que se analiza es el edificio propiamente tal. Pueden ser virtuales (modelos 3D), o físicos (por ejemplo, cuando lo que se pretende es analizar el real comportamiento de un material o condición física). Los modelos de producto se utilizan para detectar colisiones entre elementos, interferencias entre instalaciones, visualizar geometrías complejas, y en general, analizar resoluciones materiales en el espacio. Toda la evidencia indica que cada día los diseñadores están abandonando los modelos físicos de producto (las tradicionales pequeñas maquetas de estudio), a favor de los modelos digitales 3D, dadas sus evidentes ventajas en términos de tiempo, costo y flexibilidad de reutilización (Arditi *et al.*, 2002);
- (2) Los *modelos de proceso* corresponden a simulaciones de los procesos de construcción del edificio. Lo que se analiza es el flujo físico de materiales y recursos a lo largo del tiempo, la obra propiamente tal. Se utilizan para estudiar el desarrollo de procedimientos constructivos y detectar problemas como interferencias entre equipos de trabajo, falta de espacio para el desarrollo de faenas, flujo de materiales y mano de obra, etc.

Figura 17:  
Modelos de producto y  
modelos de proceso  
como herramientas de  
integración de  
constructividad



En el campo de los modelos de producto, destaca la tecnología de *Modelamiento de Información para la Edificación* o *BIM (Building Information Modeling)*, en la cual lo que se modela es toda la información de producto disponible, abarcando no sólo la geometría del edificio (modelo tradicional de producto), sino además la información topográfica, urbana, climática, y toda el detalle de los componentes y elementos que conforman el edificio, incluyendo materiales, cantidades, propiedades físicas y mecánicas, costo, etc.

En el campo de modelos de proceso, destaca la tecnología de *Diseño y Construcción Virtual* o *VDC* (*Virtual Design and Construction*), en la cual se construye en 3D el modelo completo del terreno y todos los recursos de construcción, mano de obra, materiales, maquinarias y herramientas, instalaciones secundarias (andamios, moldajes, etc.), e incluso elementos externos afectantes (infraestructura, sitios colindantes). Junto a este modelo 3D se incorpora la información de programación de actividades y faenas, lo que permite, en definitiva, crear una simulación 4D en tiempo real de todas las actividades de construcción (desplazamiento de mano de obra y equipos, el espacio necesario para las faenas, el flujo de materiales, etc). La visualización de los recursos permite, literalmente, prever problemas en obra, como conflictos de espacio para instalaciones secundarias, falta de área de maniobra, colisiones entre elementos, problemas en los flujos de materiales o recursos, entre otros. Estudios empíricos con empresas constructoras han demostrado que el VDC y la simulación 4D reduce el número de actividades en el camino crítico, distribuye mejor los recursos productivos, permite tener mayor flexibilidad en tiempo y reduce los problemas de planificación (Clayton *et al.*, 2002; Vries and Broekmaat, 2003; En: De Vries y Harink, 2005).

El mejor esquema de operación para los modelos es cuando operan en conjunto (figura 17). Los modelos de proceso permiten analizar la obra y detectar problemas o ineficiencias relacionadas con características del objeto. Los modelos de producto permiten analizar esas características conflictivas y optimizar el diseño.

### c. *Retroalimentación desde obra*

Consiste en un sistema de comunicación fluido entre el equipo constructor y el equipo diseñador, a través del cual los primeros informan a los segundos del desarrollo de las actividades en terreno, los problemas ocurridos y los que se preeven, a fin de ajustar y mejorar el diseño a las particularidades de obra.

En estricto rigor, no es un método de incorporación de conocimiento de constructividad al (proceso de) diseño, toda vez que se fundamenta en una operatoria que funciona *a posteriori*: los mejoramientos se realizan cuando el diseño ya está completamente terminado y ejecutándose en obra, de manera que, en realidad, representan “cambios de proyecto” y no “mejoramientos de diseño”. Más aún, en la inmensa mayoría de los casos, estos cambios sólo se realizan cuando son estrictamente inevitables y representan verdaderos impedimentos a la materialización del proyecto (problemas de factibilidad de construcción, *vid.* § 1.2.2.a.). Por ende, no producen mejoras de eficiencia en el propio proyecto. No obstante, a largo plazo, si se producen eficiencias en proyectos futuros. Con cada observación —con o sin cambios realizados—, los arquitectos aprenden lecciones que quedan informalmente convertidas en conocimiento tácito de constructividad, y por lo mismo es

de esperar que, en el mejor de los casos, un mismo equipo de arquitectos no cometerá dos veces el mismo error o ineficiencia de diseño en proyectos distintos.

Existe una situación excepcional en la cual la retroalimentación desde obra puede considerarse un auténtico método de incorporación de conocimiento de constructividad al diseño: aquellos proyectos que se construyen por etapas y con una distancia temporal entre diseño y construcción tan grande que literalmente la primera etapa de proyecto se empieza a construir cuando todavía no se han diseñado las siguientes. En estos casos la observación crítica del desarrollo del proceso constructivo por parte del diseñador es un informante válido para corregir los problemas generados y aprovechar potencialidades desperdiciadas.

La retroalimentación se basa en las relaciones entre profesionales y en el nivel de comunicación entre equipo constructor y equipo diseñador. En una industria fragmentada o con relaciones contractuales el trabajo colaborativo, por lo general la comunicación entre profesionales se minimiza, limitándose a aquellos puntos que representan directas amenazas al desarrollo del proyecto.

#### *d. Instrumentos de control de gestión*

Son las menos utilizadas y por lo mismo no están totalmente definidas y caracterizadas. Genéricamente, comprenden a todos aquellos instrumentos que por medio de un registro escrito, establecen un mecanismo de seguimiento y evaluación del desempeño del diseño en obra (facilidad de construcción), permitiendo revisar y evaluar el trabajo en ocasiones posteriores, y así, formalizar y difundir la experiencia. Son ejemplos de este tipo de herramientas: las listas de chequeo, hojas de registro, matrices de evaluación, registro de lecciones aprendidas o bitácoras. En su totalidad, son formatos que derivan de sistemas de gestión de calidad y que han sido adaptados para su uso en constructividad desuniformemente al interior de cada empresa que los utiliza. Su principal característica es que dado que operan bajo un soporte físico escrito, permiten la reutilización y transferencia del conocimiento creado, siendo el único sistema que trasciende formalmente del propio proyecto. Lamentablemente, dado su poco uso —solo un 10% de las empresas tienen un sistema documentado de mejora de constructividad (Uhlik y Lores, 1998)— son por general métodos aislados, de poco o débil uso, limitados o que no cumplen satisfactoriamente su objetivo.

## § 3.2.2. Mecanismos de integración en el ambiente académico

### a. La constructividad como competencia

43

Incorporar conocimiento de constructividad en el diseño dentro de un contexto académico no es lo mismo que enseñar construcción. El conocimiento de constructividad es de una naturaleza diferente y está asociado a un “saber hacer” (diseñar con constructividad), por lo que en el contexto del espacio enseñanza-aprendizaje, más que un contenido que agregar, constituye una competencia que desarrollar.

Tradicionalmente, las escuelas de arquitectura consideran dentro de sus currículos un grupo de cursos denominados “edificación”, “construcción” o “tecnología”, estructurados a base de contenidos relacionados con materiales, sistemas constructivos, acondicionamiento físico-ambiental o instalaciones, y cuyo propósito principal es transmitir conocimiento técnico sobre estos temas de modo que sean utilitarios al trabajo integral de diseño. Por ejemplo, la enseñanza de “sistemas constructivos” no sólo se refiere a las características del sistema y procedimiento en obra, sino también a sus propiedades térmicas, acústicas, e incluso expresivas. Usualmente funcionan como unidades académicas autónomas, acaso conectadas con el taller de diseño, bajo la hipótesis formativa de que cuando el individuo se vea enfrentado a un problema de diseño conciliará en él los contenidos aprendidos.

La transferencia de conocimiento de constructividad es un proceso más complejo. Dadas la naturaleza tácita, instrumental y procedimental del conocimiento de constructividad, “saber constructividad”, es en rigor, saber diseñar con constructividad. Más que un contenido que agregar o profundizar en los cursos técnicos, diseñar con (alta) constructividad es una competencia que se debe desarrollar transversalmente a lo largo de todo el ciclo de estudio en forma progresiva y sistémica. Ciertamente requiere de conocimiento técnico propio de los cursos de edificación (conocimiento explícito declarativo), pero en ningún caso es suficiente. La construcción de la competencia requiere además la incorporación de recursos cognitivos, procedurales, contextuales, e incluso interpersonales y afectivos, que en forma integrada le permitan al individuo movilizar y poner en acción su saber técnico con el fin de actuar satisfactoriamente (diseñar).

La instalación curricular de la competencia debe ser transversal vertical y horizontalmente. Debe ser transversal verticalmente, porque no es exclusiva de un momento o etapa de formación (“al inicio/final de la carrera”), sino existente en todo lo largo del proceso, pero con distinto nivel de intensidad, profundidad y complejidad en cada ciclo. Debe ser transversal horizontalmente, porque no es exclusiva del contexto de los cursos de “edificación”, sino que cruza a taller y a todas las demás unidades académicas. La incorporación de conocimiento de constructividad *debe darse en el diseño*, y abarcar todas las escalas, contextos y escenarios de actuación profesional posibles.

### b. Estrategias didácticas

El principal mecanismo para la incorporación del conocimiento de constructividad en el proceso de diseño dentro del ambiente académico consiste en situar al estudiante en el contexto de un problema de diseño para cuya solución requiera necesariamente obtener, sintetizar y aplicar conocimiento de constructividad. Estos contextos deben ser variados en su grado de control, abstracción y complejidad, variando desde los escenarios más controlados, abstractos y sencillos en el inicio de la formación —cuando los estudiantes comienzan a familiarizarse el impacto del diseño en la construcción—, hasta los más libres, empíricos, y complejos hacia el final, cuando están prontos a insertarse en el contexto profesional.

A continuación se presentan cinco ejemplos de estrategias didácticas, crecientes en complejidad:

- (1) Preguntas directas: Consiste en plantear al estudiante un caso muy definido de diseño para cuya solución deba optar entre un grupo de posibilidades dadas, basándose en condiciones de facilidad y eficiencia de construcción. Puede ser usado dentro del contexto de los cursos de edificación, como una manera de hacer significativo el conocimiento técnico teórico.
- (2) Ejercicios de diseño con variable extremada: Consiste en plantear un ejercicio de diseño (“un encargo”) en el cual un factor de constructividad está extremado, a fin que sea evidentemente reconocido y considerado por el estudiante. Por ejemplo, diseñar una bodega en un contexto con abundancia de ladrillos y mortero, pero con escasez de acero para armaduras.
- (3) Ejercicios de diseño en escenarios de simulación: Consiste en plantear un ejercicio de diseño cuya resolución pueda ser modelada en programas de simulación de construcción (*vid.* § 3.2.1.b.) a fin de evaluar su desempeño, corregir problemas, detectar potenciales, y mejorar su grado de constructividad. Los simuladores tienen la ventaja de poder manipular variables que son muy difíciles de ejercitar en condiciones normales, como terrenos extremos, materiales extravagantes, encargos excepcionales, entre otros.
- (4) Ejercicios de diseño-construcción: Consiste en plantear un problema de diseño que deba ser efectivamente construido en escala real (1:1, 1:2) por los mismos estudiantes, a fin que puedan experimentar reales restricciones de recursos y condiciones de construcción, aunque en un contexto de complejidad menor a un entorno profesional.
- (5) Prácticas en contextos profesionales: Consiste en insertar al estudiante en un contexto de trabajo profesional real, por medio de prácticas profesionales parciales o completas, a fin que pueda experimentar con variables de diseño y condiciones de construcción absolutamente reales y de complejidad mayor..