

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/306889638>

# Constructividad y Arquitectura

Book · July 2010

DOI: 10.13140/RG.2.2.13869.90082

---

CITATION

1

---

READS

4,110

2 authors, including:



[Mauricio Loyola](#)

University of Chile

31 PUBLICATIONS 8 CITATIONS

SEE PROFILE

Mauricio Loyola Vergara  
Luis Goldsack Jarpa

# Constructividad y Arquitectura



# Constructividad y Arquitectura

Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile  
Dirección: Campus Andrés Bello, Av. Portugal n° 84, Santiago de Chile  
Teléfono: (2) 978 3067  
Sitio web: [www.uchilefau.cl](http://www.uchilefau.cl)

Representante legal: Rector Prof. Víctor Pérez Vera  
Decano: Prof. Leopoldo Prat Vargas  
Vicedecano: Prof. Humberto Eliash Díaz

#### CONSTRUCTIVIDAD Y ARQUITECTURA

Mauricio Loyola Vergara y Luis Goldsack Jarpa

© Universidad de Chile, 2010

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente por ningún medio o procedimiento sin permiso escrito por parte de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile.

Inscripción en el Registro de Propiedad Intelectual N° 193.439  
I.S.B.N. 978-956-19-0690-7

Primera Edición: Julio 2010

Coordinación de publicación: Juan Pablo Urrutia Muñoz  
Dibujos y esquemas: Juan Pablo Urrutia Muñoz  
Fotografía portada: Bruno Giliberto Rodríguez

Este documento está editado y publicado como parte de las actividades del proyecto de investigación FAU N° 008/2008 "Identificación de los atributos del diseño arquitectónico que se relacionan con su grado de constructividad", desarrollado por los académicos instructor Mauricio Loyola Vergara como investigador principal y profesor Luis Goldsack Jarpa como investigador alterno, y siendo decano de la facultad el profesor Julio Chesta Peigna (†) y directora de la unidad de investigación la profesora Carmen Paz Castro Correa.

Impreso por Gráfica LOM, Concha y Toro 25, Santiago. Tel. 672 2236

Impreso en Chile / Printed in Chile

Constructividad y Arquitectura / Loyola Vergara, Mauricio; Goldsack Jarpa, Luis  
Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2010

158 p., il., 21,5 x 21,5 cm.

ISBN: 978-956-19-0690-7

1. Diseño arquitectónico I. Título  
CDD 729



Universidad de Chile  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo

# Constructividad y Arquitectura

Mauricio Loyola Vergara

Luis Goldsack Jarpa

Santiago, 2010



# Contenidos

---

Presentación .....	xiii
Introducción.....	xv
Organización de este documento .....	xvii

## PRIMERA PARTE: ANTECEDENTES GENERALES

1. El concepto de constructividad .....	3
1.1. Origen del concepto de constructividad .....	3
1.1.1. Panorama histórico de la relación diseño-construcción.....	3
1.1.2. Características de la actual industria de la construcción que impulsan el estudio de la constructividad .....	5
1.1.3. Surgimiento del concepto de constructividad .....	9
1.2. Definición del concepto de constructividad .....	11
1.2.1. Constructividad como atributo del diseño .....	11
1.2.2. Diferencia entre constructividad y constructabilidad .....	13
1.2.3. Diferencia entre constructividad y otros conceptos .....	14
1.3. Importancia de la constructividad como atributo del diseño .....	16
2. Conocimiento de constructividad.....	20
2.1. Descripción del conocimiento de constructividad.....	20
2.1.1. Características del conocimiento de constructividad .....	20

2.1.2. Producción y transferencia del conocimiento de constructividad .....	26
2.2. Formalización del conocimiento de constructividad.....	29
2.2.1. Aproximaciones a la formalización del conocimiento de constructividad.....	29
2.2.2. Formatos para la formalización del conocimiento de constructividad .....	31
3. Integración del conocimiento de constructividad en el diseño.....	34
3.1. Bases para la integración de conocimiento de constructividad en el diseño.....	34
3.2. Mecanismos de integración del conocimiento de constructividad en el diseño .....	39
3.2.1. Mecanismos de integración en el ambiente profesional .....	39
3.2.2. Mecanismos de integración en el ambiente académico .....	43

## SEGUNDA PARTE: SISTEMA DE ORGANIZACIÓN DE CONOCIMIENTO DE CONSTRUCTIVIDAD

4. Panorama general de los sistemas de organización del conocimiento de constructividad.....	47
5. El concepto de dificultad de construcción y su relación con el diseño.....	54
5.1. El concepto de dificultad de construcción .....	54
5.1.1. Necesidad de un modelo de dificultad de construcción .....	54
5.1.2. Modelo Analítico de Dificultad de Construcción (MADC).....	55
a. Primera fase: análisis operacional del proyecto .....	57
b. Segunda fase: análisis de dificultad de construcción.....	59
5.2. Reducción de la dificultad de construcción desde el diseño .....	62
5.2.1. Aproximaciones a la reducción de dificultad total de construcción.....	62
6. Estructura de Conocimiento de Constructividad (ECC).....	66
6.1. Descripción general de la Estructura de Conocimiento de Constructividad (ECC).....	66
a. Factores .....	67
b. Principios: .....	70
c. Pautas.....	70
d. Reglas.....	71
6.2. Factores de la constructividad.....	72
6.2.1. Factores internos a obra.....	72
a. Mano de obra .....	72
b. Procedimientos constructivos .....	75
c. Herramientas .....	78

d. Materiales.....	80
6.2.2. Factores externos a obra .....	83
a. Clima.....	83
b. Terreno .....	86
c. Accesibilidad.....	89
d. Tiempo .....	93
6.2.3. Factores transversales .....	96
a. Comunicación.....	96
b. Coordinación.....	99
6.3. Principios de la constructividad.....	101
a. Principio de simplificación de tareas de construcción.....	101
b. Principio de reducción de tareas de construcción .....	104
c. Principio de reducción de variabilidad de tareas de construcción .....	107
d. Principio de flexibilidad de elección de tareas de construcción .....	110
6.4. Ejemplos de pautas y reglas de constructividad.....	113
6.4.1. Pautas de constructividad .....	113
6.4.2. Reglas de constructividad .....	115
Resumen esquemático .....	116
Glosario de conceptos propuestos .....	129
Referencias.....	133
Bibliografía recomendada .....	140

## Índice de figuras

---

Figura 1: Evolución de las actividades en la industria de la construcción .....	4
Figura 2: Características de la industria de la construcción contemporánea.....	8
Figura 3: Definición de constructividad .....	12
Figura 4: Curva de costo e impacto de las decisiones de diseño .....	16
Figura 5: Beneficios de la mayor constructividad en los diseños .....	17
Figura 6: Relación entre conocimiento tácito/explicito durante el proceso de diseño .....	21
Figura 7: Relación variables de producto y proceso .....	23
Figura 8: Relación entre conocimiento general/específico durante el proceso de diseño .....	24
Figura 9: Interacción conocimiento tácito/explicito.....	27
Figura 10: Proceso de externalización del conocimiento en el contexto de taller .....	28
Figura 11: Formatos para la formalización del conocimiento.....	32
Figura 12: Ordenamiento diferentes formatos .....	33
Figura 13: Definición del proceso de diseño .....	35
Figura 14: Ciclo de análisis-propuesta en el proceso creativo de diseño .....	36
Figura 15: Modelos sistémico enfático y lineal acumulativo .....	37
Figura 16: Modelo tridimensional de integración del conocimiento de constructividad.....	38
Figura 17: Modelos de producto y de procesos como herramientas de constructividad .....	40
Figura 18: Objetivos principales del MADC .....	55
Figura 19: Mecanismo básico de análisis del MADC.....	56
Figura 20: Niveles de análisis operacional y de dificultad.....	56
Figura 21: Indicadores de dificultad afectables por el diseño.....	64
Figura 22: Ejemplo de cambio de terminación en pilar curvo para eliminar estucado .....	72
Figura 23: Ejemplo de cambio de tipo de unión en estructura metálica .....	73
Figura 24: Ejemplo de cambio de diseño de componente para facilitar montaje .....	76
Figura 25: Ejemplo de modularización del diseño .....	76
Figura 26: Ejemplo de cambio de tipo de soporte de celosía exterior.....	77
Figura 27: Ejemplo de cambio de detalle de guardapolvo.....	77
Figura 28: Ejemplo de cambio de modulación en panel pétreo para hacerlo más manejable.....	81
Figura 29: Ejemplo de cambio de emplazamiento en pendiente difícil.....	87
Figura 30: Ejemplo de cambio de fundaciones en terrenos difíciles.....	87

Figura 31: Ejemplo de cambio de losa para dar acceso a maquinaria pesada .....	90
Figura 32: Ejemplo de segmentación del edificio para permitir acceso al terreno .....	90
Figura 33: Ejemplo de poca accesibilidad externa .....	91
Figura 34: Ejemplo de cambio de acceso en proyecto para permitir ingreso de vehículos.....	91

## Índice de cuadros

---

Cuadro 1: Principales definiciones de constructividad en la literatura .....	11
Cuadro 2: Algunas de las principales definiciones de constructabilidad en la literatura .....	13
Cuadro 3: Diferencias entre constructividad y constructabilidad.....	14
Cuadro 4: Diferencia entre constructividad y factibilidad de construcción.....	14
Cuadro 5: Diferencia entre conocimiento tácito y explícito .....	21
Cuadro 6: Rol del conocimiento de constructividad en el proceso de diseño.....	22
Cuadro 7: Características del conocimiento de constructividad .....	25
Cuadro 8: Diferencias entre socialización interna y externa .....	27
Cuadro 9: Principales denominaciones de los formatos y sus equivalencias .....	32
Cuadro 10: Principios básicos según CIRIA (1983) y CII (1987). .....	48
Cuadro 11: Principales conceptos relacionados con el grado de constructividad .....	53
Cuadro 12: Ejemplos de tarea de construcción .....	58
Cuadro 13: Ejemplos de principales indicadores de dificultad .....	60
Cuadro 14: Factores y Principios de constructividad .....	000



# Presentación

---

Tengo la oportunidad y el agrado de presentar el libro “Constructividad y Arquitectura”, interesante y valiosa producción de nuestra Facultad.

Este libro nace de la investigación realizada por los académicos Mauricio Loyola Vergara y Luis Goldsack Jarpa, quienes estudiaron en profundidad cómo la constructividad interviene en el diseño arquitectónico y hoy nos presentan sus resultados y propuestas sobre cómo ese proceso, aparentemente confuso y primario, puede ser comprendido y sistematizado. Es un trabajo que tiene considerables repercusiones en los contextos académicos y de ejercicio profesional.

La arquitectura es una disciplina muy compleja; para la concepción y materialización de una obra se deben considerar variados factores y determinantes para luego realizar una equilibrada toma de decisiones. La constructividad no puede estar ausente, debe ser considerada desde el inicio del proceso de diseño, buscando integrarse armónicamente a las demás determinantes que se estudian. Sin embargo, tal como se plantea en el libro, muchas veces la constructividad ha quedado fuera, no ha sido integrada debidamente por los arquitectos al iniciar el proceso de diseño. Esto representa un importante despilfarro de oportunidades para el proyecto. Los beneficios que trae su consideración en el diseño son enormes: obras de construcción más eficientes, mayor flexibilidad, mayor orden, menores tiempos de proyecto, etc., lo que finalmente se traduce en menores costos y en un mejor producto final.

El libro trata extensa y detalladamente el tema de la constructividad. Es definida y caracterizada en forma muy precisa en la primera parte del estudio, para luego entregarnos su real presencia en el proceso del diseño como una variable más a considerar. Finalmente se hacen proposiciones para su implementación acompañado de ejemplos de acciones a realizar.

Es este un trabajo de gran valor; “Constructividad y Arquitectura” nos hace revisar y pensar sobre nuestra docencia en esta área, urgiendo por aclarar los procesos de diseño e incorporar la constructividad como un factor a considerar y así lograr mejores resultados en una obra arquitectónica.

Aunque el libro se concentra fundamentalmente en el diseño arquitectónico, especialmente en la segunda parte, el diseñar con constructividad es una competencia profesional que no sólo afecta a la arquitectura sino también al diseño de objetos, de espacios urbanos y de estructuras. Es un prisma transversal que acerca a los “diseñadores” en general, al área industrial y productiva, y les exige ser conscientes sobre cómo sus diseños son efectivamente materializados. Esta condición ha sido una vocación histórica en la formación de los profesionales de nuestra facultad, está presente en el perfil de egreso de nuestros arquitectos, y es quizás en donde surge y se fundamenta el presente estudio.

Ante las pocas publicaciones referidas a la caracterización de la relación entre diseño arquitectónico y construcción, ésta se nos presenta como un estímulo para avanzar en el conocimiento y profundizar teóricamente en la disciplina.

Prof. Titular Leopoldo Prat Vargas  
Decano Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Universidad de Chile

Santiago, 2010

# Introducción

---

El concepto de “constructividad” nació a comienzos de la década de los ochenta cuando una serie de industriales y académicos ingleses comenzaron a estudiar los conflictos existentes entre diseño y construcción como una de las causas importantes de pérdida de eficiencia y productividad en la industria. La constructividad venía en ese entonces a describir *“la manera en la cual el diseño de un edificio facilita su construcción”* (CIRIA, 1983), lo que en otras palabras, significaba pensar cómo diseñar proyectos tomando en cuenta la mayor cantidad de particularidades de los procesos constructivos, y de este modo, anticipar y disminuir los problemas en obra.

Más o menos durante esos mismos años, investigadores norteamericanos propusieron el concepto de “constructabilidad” para referirse a la *“integración óptima del conocimiento y experiencia en construcción en la planificación, diseño, logística y operaciones de obra para alcanzar todos los objetivos del proyecto”* (CII, 1986). Aunque bastante similar con el concepto de constructividad, este segundo término tenía un ligero matiz de diferenciación pues iba más allá de la fase de diseño, abarcando todas las etapas de proyecto.

Durante los siguientes años, los académicos, industriales y profesionales interesados en el tema se inclinaron preferentemente por el concepto de constructabilidad y su enfoque administrativo; presumiblemente, debido a su mayor amplitud. Las investigaciones pusieron énfasis en el estudio y desarrollo de mejores prácticas de gestión de los proyectos de construcción que permitieran mejorar el nivel de eficiencia de los procesos en obra. Se estudiaron técnicas de planificación y organización de obras, métodos de formación y capacitación de recursos humanos, modelos contractuales que dieran flexibilidad de administración, sistemas de simulación y planificación operacional de las actividades en obra, y en general, técnicas o métodos de gestión de proyectos que permitieran incorporar el conocimiento de construcción en todas las etapas a fin de optimizar los objetivos de

proyecto. El estudio de la constructabilidad se radicó fuertemente en escuelas de ingeniería y de administración de la construcción y en organizaciones gremiales o industriales.

Sin embargo, en los últimos diez años una serie de estudios han retomado el interés por la etapa de diseño en sí misma, luego de comprobar el considerable impacto que tienen las decisiones tomadas en esta fase sobre el posterior nivel de eficiencia de las operaciones de construcción. Los administradores de obras comenzaron a percatarse que aún teniendo los mejores sistemas de planificación y dirección de obras, existían problemas forzados que venían implícitos en el diseño, y que para superarlos, era necesario trabajar con los diseñadores desde las más tempranas etapas de proyecto. La constructividad ha comenzado a ser revisada independientemente de las técnicas de administración. Sin embargo, la inmensa mayoría de estos estudios han seguido concentrados en el área de ingeniería, y las investigaciones sobre constructividad del “diseño” se han focalizado casi exclusivamente en el diseño estructural y diseño de instalaciones.

En respuesta a esto, este documento propone revisar el concepto de constructividad del *diseño de arquitectura*, y especialmente, de aquel desarrollado durante las etapas más preliminares del proyecto. Dado el vacío teórico que existe, la principal tarea ha sido la construcción de una base conceptual ordenada, articulada y coherente que permita delimitar el tema, organizar el conocimiento existente, y sistematizar la creación de conocimiento futuro; siempre desde una perspectiva basada en el diseño. La piedra fundacional es la revisión de la definición de la constructividad como “el grado en el cual un determinado diseño permite una mayor facilidad y eficiencia de construcción, sujeto a todos los requerimientos del cliente y del proyecto”. Esto implica que se entiende a la constructividad como un *atributo del diseño*, que se puede observar, graduar e incluso medir objetivamente, y por lo tanto, que es racionalmente manejable y mejorable por el arquitecto. Más aún, se concluye que existe un cuerpo de “conocimiento de constructividad” que es específico, individualizado e independiente, y que, por ende, se puede enseñar y aprender en forma sistemática, tanto en el ambiente académico como en el profesional. De hecho, se caracteriza en detalle el conocimiento de constructividad y se describen sus modos de producción, transferencia e incorporación en el diseño. A partir de esto, se plantea un sistema de organización del conocimiento de constructividad creado específicamente para satisfacer las demandas y necesidades del diseño; sistema que no sólo permite ordenar el conocimiento, sino además fundamentarlo, sintetizarlo, transmitirlo, y aplicarlo.

En suma, este libro se plantea con dos objetivos principales: en primer lugar, demostrar que la constructividad es un atributo del diseño que tiene un conocimiento específico asociado que se puede producir y transferir en forma sistemática, y en segundo lugar, plantear un sistema de organización de conocimiento de constructividad útil para el diseño. Lejos de agotar el tema, el propósito es que se constituya en un punto de partida para una línea de trabajo, investigación y docencia sobre constructividad del diseño de arquitectura.

## Organización de este documento

---

xvii

Este documento está dividido en dos partes principales. En la primera parte, se presentan antecedentes generales que definen y delimitan el tema; desde la enmarcación histórica del surgimiento del concepto hasta su caracterización epistemológica. En la segunda parte, se propone un sistema de organización del conocimiento de constructividad útil para el diseño que permite ordenar, justificar, sintetizar, transmitir y aplicar el conocimiento, tanto el existente como el que está por crearse.

En el primer capítulo se presenta el concepto de constructividad. En primer lugar, se reseña el surgimiento del concepto, desde un panorama histórico general hasta la descripción de las características de la actual industria de la construcción. En segundo lugar, se profundiza en la definición y alcances del concepto de constructividad, primero basado en la literatura existente y luego desde una perspectiva propia centrada en el diseño, contrastando la definición propuesta con otros conceptos similares. Por último, se pone en perspectiva el valor del estudio y mejora de la constructividad.

En el segundo capítulo se analiza el conocimiento específico de constructividad. En primer lugar, se hace una descripción de sus principales características que lo hacen específico, individualizado e independiente. En segundo lugar, se describen los procesos de producción y transferencia del conocimiento, primero en forma general, y luego profundizando en los dos más relevantes. Por último, se analizan los principales formatos de formalización de conocimiento de constructividad y se detallan sus características.

En el tercer capítulo, se ahonda en los mecanismos de integración de conocimiento de constructividad en el proceso de diseño. En primer lugar, se comentan las características generales del proceso de diseño, su operatoria y su organización administrativa y creativa. En segundo lugar, se discuten dos modelos clásicos de incorporación de conocimiento de construcción en el diseño, y abogando por uno de ellos, se plantea un esquema general de requerimientos de ordenación de conocimiento de constructividad para que sea útil para el diseño. Por último se detallan algunos de los principales mecanismos de integración de conocimiento de constructividad en el diseño, tanto en el ambiente profesional como en el académico.

La segunda parte del documento comienza con el cuarto capítulo, en cual se hace una revisión general y sintetizada de los sistemas de organización del conocimiento de constructividad que se pueden encontrar en la literatura técnica especializada durante los últimos 30 años.

En el quinto capítulo, se analiza el concepto de “dificultad de construcción” y su relación con el diseño, aspecto fundamental en la propia esencia de la idea de constructividad. Se detecta un vacío

conceptual crítico, a partir del cual se propone un *Modelo Analítico de Dificultad de Construcción (MADC)*, estructura conceptual que define, caracteriza y explica la relación entre dificultad de construcción y diseño, y consecuentemente, establece las bases para el planteamiento de un ordenamiento de conocimiento de constructividad útil para el diseño. Luego de explicar la necesidad del modelo, hacer las definiciones principales y explicar su operatoria, se profundiza en mecanismos de reducción de dificultad de construcción de un proyecto desde el diseño.

En el sexto y último capítulo, y a partir de las bases establecidas en el MADC, se propone una *Estructura de Conocimiento de Constructividad (ECC)*, especialmente creada para que sea útil para el diseño, satisfaciendo todos los requerimientos previamente definidos en la primera parte de este libro. Luego de hacer una descripción general de la ECC, explicando sus niveles y componentes, se profundiza en los dos primeros niveles, los *Factores de Constructividad* y los *Principios de Constructividad*, los más relevantes en el tenor dado por los objetivos de este documento. Se define con precisión cada factor y principio, sus alcances, limitantes, ámbitos de análisis y métodos de mejoramiento, añadiendo considerables ejemplos y casos prácticos. Los dos últimos niveles, las *Pautas de Constructividad* y las *Reglas de Constructividad*, se introducen genéricamente y se comentan los criterios para su formulación, añadiendo sólo algunos sucintos ejemplos.

Finalmente, a modo de recurso pedagógico pensado para el probable uso académico de este libro, se agrega un resumen esquemático, un glosario de conceptos propuestos y una bibliografía sugerida para el estudiante o profesional que recién se inicia en el tema.

# Primera Parte: Antecedentes Generales



# 1. El concepto de constructividad

---

## § 1.1. Origen del concepto de constructividad

---

### § 1.1.1. Panorama histórico de la relación diseño-construcción

La manera en que se diseñan y construyen edificios ha tenido una significativa evolución desde la integración implícita entre diseño y construcción que existía en la antigüedad, hasta la separación explícita basada en el ideal de conocimiento profesional experto que rige en la actualidad.

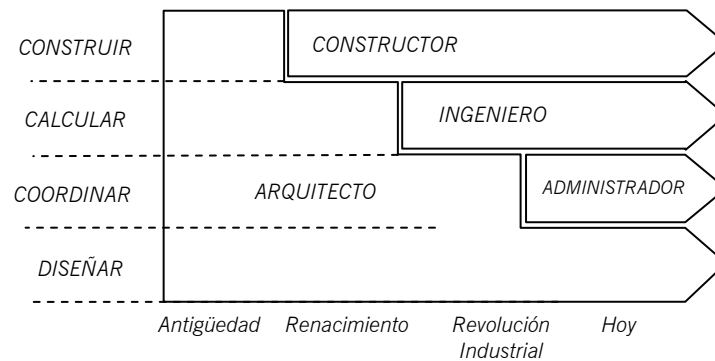
En la antigüedad, las tareas de diseñar y construir edificios se fundían en una misma persona. El “arquitecto” era quien estaba a cargo de todas las obras necesarias para erigir un edificio, desde la elección de las formas, tamaños y materiales, hasta la dirección de los hombres en las faenas de construcción. Etimológicamente, “arquitecto” proviene del griego  $\alpha\rho\chi\iota\tau\epsilon\kappa\tau\omega\nu$ , compuesto por  $\alpha\rho\chi\iota$  (*archi*) “jefe, guía, principal” y  $\tau\epsilon\kappa\tau\omega\nu$  (*tecton*) “construcción, obras”: arquitecto, jefe de las obras.

En la construcción greco-romana, diseñar y construir no eran entendidos como actividades independientes, sino como componentes integrados, indivisibles y esenciales del ejercicio de la arquitectura. Vitruvio (I a.C.) señaló que el conocimiento del arquitecto “*nace de la práctica y la teoría, (...) la práctica es el ejercicio continuo y regular de la obra, donde el trabajo manual y el trabajo de materiales son realizados de acuerdo a los dibujos (...) y la teoría es la habilidad intelectual para interpretar y explicar las proporciones y formas de las obras construidas*”. Vitruvio fue además enfático en señalar que el arquitecto debe ser educado y equipado en ambas dimensiones, pues “[aquellos arquitectos] *que confían exclusivamente en sus propios razonamientos y teorías (...) y no son hábiles en el trabajo manual de obra, (...) persiguen más una sombra que la realidad*” (Vitruvius Pollio, 1999).

En el Medioevo, los “arquitectos” eran aquellos maestros albañiles con más experiencia, versados en el arte de la geometría y composición, que podían dibujar planos y diseñar detalles que podían ser ejecutados por otros. Tampoco existía separación entre la tarea de dibujar la obra y la actividad manual de labrar la piedra; un maestro masón (del francés “*maçon*”, albañil) debía ser preparado en ambas artes para ser reconocido como tal (Moore, 1996).

La primera gran revolución en la relación diseño-construcción ocurrió en el Renacimiento, cuando por primera vez en la historia surgió la figura del arquitecto disociada de la construcción y ligada exclusivamente a la etapa de diseño. El arquitecto se auto-reconocía socialmente diferente al constructor, quien quedaba asociado únicamente al trabajo manual, tal como observarse en las palabras del arquitecto italiano Leon Battista Alberti (1404-72) señaló que “*un arquitecto no es un carpintero o ebanista (...); el trabajo manual no es más que un instrumento para el arquitecto que, por medio de una habilidad segura y maravillosa y de un método, es capaz de completar su obra*” (Lücke, 1975). La enseñanza del arte de la arquitectura comenzó a formalizarse en *academias* centradas en las artes liberales de dibujo, gramática, filosofía y ciencias exactas, y abandonó el tradicional sistema de ensayo-error transmitido oralmente a través de aprendices y gremios de oficios que fue ocupado por siglos. La visión albertiana del arquitecto como “*un artista e intelectual cuya actividad no tenía conexión con la de un obrero o artesano*” (Moore, 1996) marcó el primer quiebre de la constructividad implícita en la práctica de la arquitectura.

Figura 1:  
Evolución de la  
separación de las  
actividades en la  
industria de la  
construcción



La segunda gran revolución ocurrió casi 400 años después, cuando en plena Revolución Industrial surgió una serie de nuevos materiales (*i.e.* hierro fundido, hormigón armado, acero) que demandaron un conocimiento más exacto de sus propiedades físico-mecánicas, de métodos de cálculo de su comportamiento, y de paso, detonaron el nacimiento de la ingeniería moderna. Con la aparición de la figura del ingeniero, se terminaron de separar las labores de diseñar, calcular y construir (Uhlík y

Lores, 1998). La profesionalización y consecuente separación de las actividades —basadas en el ideal de la especialización y conocimiento experto— marcaron el segundo y definitivo quiebre de la constructividad implícita en la práctica de la arquitectura (figura 1).

Hoy, la industria de la construcción se desarrolla indiscutidamente bajo este paradigma de creciente separación de actividades y especialización de conocimiento. En cierta forma, es incluso posible argumentar que actualmente estamos viviendo la tercera gran revolución en la relación diseño-construcción: con plena Revolución Informática en curso, ha aparecido la figura del *project manager* o administrador de proyecto como el especialista en el manejo de la información del proyecto, separándose las actividades de diseñar, calcular, construir y coordinar. Un escenario radicalmente distinto al que existía sólo 600 años atrás cuando un hombre era capaz de construir un edificio sólo haciendo el dibujo de una planta y una maqueta (Sainz, 2005).

En resumen, a lo largo de la historia la relación entre diseño y construcción se ha hecho cada vez más distante y disociada, con una progresiva separación de las actividades involucradas en la producción de edificios. Hoy, las tareas de diseñar, calcular y construir conforman tres campos disciplinares diferentes, y la tendencia aparente es una progresiva, creciente y mayor especialización.

### § 1.1.2. Características de la actual industria de la construcción que impulsan el estudio de la constructividad

#### *a. Especialización de actividades*

La industria de la construcción contemporánea es mediamente especializada, lo que, en general, es beneficioso y productivo. Sin embargo, el actual nivel de especialización ocasiona problemas de constructividad por dos razones principales: (1) porque los objetivos de las distintas especialidades son esencialmente diferentes y semicompetitivos entre sí (Ferguson, 1989; Nicholson, 1992); y (2) porque los límites de acción y alcance de las distintas especialidades no están completamente definidos o se traslapan entre ellas.

La primera amenaza a la constructividad de un proyecto se explica por la propia naturaleza de los participantes. En general, el trabajo de los diseñadores (arquitectos e ingenieros) consiste en definir las características del producto final, con la optimización del desempeño del edificio construido como objetivo principal. Los constructores, en cambio, privilegian la optimización de los procesos de construcción (Glavinich, 1995). Cuando estas diferencias de objetivos se agudizan y no se integran o articulan fluidamente, se produce una competencia tácita al interior de los equipos que acaba en diseños que desconocen excesivamente las particularidades de la etapa de construcción que ocasionan errores en obra, o en cambios no programados en obra que amenazan la correcta

materialización del diseño. Al respecto, Del Río (2005) detalla que el interés de la empresa constructora es tener un proyecto “*fácil, rápido, económico y eficiente*”; *el del arquitecto, un proyecto “[con la] calidad [como] lo más importante, importa menos el costo, que perdure*”; y el mandante, por su parte, mantiene una “*posición intermedia, con dudas para decidir*”.

La segunda amenaza a la constructividad de un proyecto se explica por la falta de una definición precisa (directa e indirecta) de los límites de acción de los distintos actores. Formalmente, la definición de los métodos y procesos de construcción le corresponden al constructor, pero en la práctica están implícitos en el diseño (Glavinich, 1995). Esto implica que, aunque una parte de los problemas de obra tienen su origen en el diseño, el constructor es siempre responsable por ellos y por lo mismo se le exige que los resuelva. Los diseñadores, y en especial los arquitectos, no sufren las consecuencias de un proyecto con baja constructividad y por tanto, no tienen mayores incentivos para mejorarla.

### *b. Métodos contractuales de construcción*

Las condiciones contractuales pueden también jugar un rol decisivo en el grado de constructividad de los diseños. Representan amenazas aquellos proyectos organizados con equipos extremadamente independientes o fragmentados, con poca articulación entre sus participantes, sin intervención de los diseñadores en la construcción o con restricciones fuertes de tiempo dedicado al diseño.

En un sistema contractual integrado (o *D/B Design-Build, Diseño-Construcción*), el mandante solicita a un solo equipo profesional la realización total del proyecto. Al ser naturalmente integrado, los diseñadores (arquitectos e ingenieros) trabajan de la mano con los constructores. Desde las más tempranas etapas del proyecto se incorporan las particularidades y características específicas de los procesos de construcción en el diseño. En cambio, en un sistema contractual no integrado (o *D/B/B Design-Bid-Build, Diseño-Oferta-Construcción*) el mandante contrata a un equipo específico para el diseño y luego elige a otro equipo exclusivo para la construcción; por ejemplo, a través de una licitación pública o privada. Esto supone que el equipo constructor (y sus características particulares y específicas de trabajo) no aparece en el proyecto sino hasta cuando el diseño ya está en un nivel avanzado de desarrollo; justo cuando las modificaciones para mejorar la constructividad son complicadas y costosas. En una parte importante de los casos, sólo los cambios críticos son realizados, y por lo tanto, el diseño sufre una pérdida importante de constructividad potencial. La excesiva subcontratación de especialidades acrecienta los problemas: aun conociendo a la empresa y al constructor, no se puede saber cuáles son las características y procedimientos particulares (maquinarias, herramientas, mano de obra, etc.) de quienes realmente realizarán el trabajo, pues serán posteriormente subcontratados a proveedores que no participan de los procesos de diseño o licitación.

Un ejemplo del impacto negativo que puede tener esta modalidad de contractual ocurre en aquellos proyectos en los cuales la Inspección Técnica de Obra (ITO) es también subcontratada por el mandante a un equipo profesional externo. Esto desliga de obra a los diseñadores del proyecto, especialmente a los arquitectos —responsables históricos de esta labor—, impidiéndoles aprender de los errores que sólo aparecen en terreno. Un sistema perverso que aumenta las probabilidades que los mismos problemas de constructividad se repitan en diseños futuros.

Otra amenaza está dada por aquellos contratos que ejercen excesiva presión por lograr que los proyectos se completen en el menor tiempo posible. Aunque esto tiene razonables ventajas económicas, usualmente también implica que: (1) que los tiempos destinados al estudio y desarrollo del diseño se ven reducidos al mínimo posible; y (2) que las obras de construcción comienzan antes que el diseño esté completamente terminado (Del Río, 2005; Fox *et al.*, 2002; Sabbagh, 2005). Respecto a lo primero, es evidente que un diseño sin el tiempo de estudio y desarrollo necesario tendrá deficiencias que afectarán la eficiencia y calidad de los procesos de construcción (Lam *et al.*, 2006). Respecto a lo segundo, cuando el proyecto comienza a construirse se aplica una restricción de cambios al diseño que es cada vez mayor a medida que la obra avanza, poniendo un obstáculo técnico y económico a las modificaciones de proyecto. Consecuencia de estas dos situaciones son proyectos con sucesivas modificaciones y adaptaciones parciales de diseño durante el transcurso de obra, necesarias dado que el diseño está por definición incompleto, pero que no son lo idealmente óptimas ni cerca del potencial que podrían tener. Representan una amenaza fuerte a la calidad y desempeño del producto final, y una pérdida general de eficiencia en el proceso.

### *c. Complejidad técnica de las tecnologías de construcción*

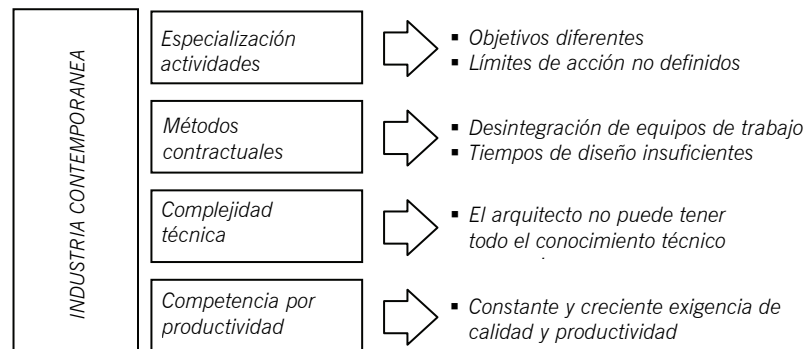
Cada día los proyectos de construcción son más complejos y requieren mayor conocimiento técnico experto. La oferta de materiales, sistemas constructivos, procedimientos de obra, herramientas, equipos, tecnologías de gestión, y en general, de soluciones técnicas para los proyectos de construcción es interminable. Como consecuencia, entre más opciones disponibles, menos conocimiento común. Los diseñadores, y especialmente los arquitectos, ya no conocen ni pueden conocer todos los detalles involucrados en la construcción de un edificio. El ideal vitruviano del arquitecto como “*una persona culta, que conozca la literatura, (...) domine el arte del dibujo y la geometría, (...) entienda la óptica y la aritmética, (...) conozca a fondo la historia, (...) sea estudioso de la filosofía, sepa música, (...) tenga conocimientos de medicina y de los diversos climas, (...) domine las leyes, (...) comprenda los cursos de agua y sepa de astrología*” (Vitruvius Pollio, 1999) es hoy imposible. El desarrollo obliga a los arquitectos a ser más eficientes y concentrar su conocimiento técnico en aquellos puntos que efectivamente son relevantes para el diseño.

Sin embargo, esta incapacidad no es una realidad asumida en la arquitectura. Está profusamente documentado que muchos de los problemas en obra se explican principalmente por la falta de conocimiento técnico sobre los procesos de obra por parte del arquitecto (Adams, 1990; Del Río, 2005; Fischer y Tatum, 1997; Fox *et al.*, 2002; Glavinich, 1995; Lam *et al.*, 2006; Oyedele y Tham, 2007; Uhlik y Lores, 1998), quien, sin embargo, o bien desarrolla el diseño a pesar de esta insuficiencia, o bien omite de plano las decisiones. En otras palabras, el arquitecto toma decisiones para las cuales carece del conocimiento suficiente, o sencillamente no las toma y deja el proyecto con información incompleta, afectando irresponsablemente el grado de constructividad de los diseños.

#### d. Competencia por productividad

La industria de la construcción contemporánea es altamente competitiva. Factores como la globalización económica, liberación de mercados, una mayor y abierta transferencia tecnológica, mercado de capitales con créditos de más fácil acceso y una mayor cantidad de empresas proveedoras de servicios han acentuado la competencia a un punto en el que mantener elevados niveles de productividad es esencial para la sobrevivencia empresarial. El mercado exige que los diseños arquitectónicos no sólo sean de alta calidad en cuanto al producto final (edificio construido), sino también sean eficientes, rápidos, fáciles, económicos y seguros en su construcción. El grado de constructividad de los diseños representa un indicador de calidad. A mayor grado de constructividad, más eficiente su construcción y más eficiente el proyecto en general. Al respecto, Arditi *et al.* (2002) señalan que un “*programa formal y explícito de [gestión y mejoramiento de la] constructividad al interior de toda empresa de diseño se ha vuelto imprescindible para sobrevivir en el altamente competitivo mercado de hoy*”.

Figura 2:  
Características de la actual industria de la construcción que impulsan el estudio de la constructividad



### § 1.1.3. Surgimiento del concepto de constructividad

El interés formal por el estudio de lo que hoy llamamos “constructividad” surgió en la década del sesenta, producto de una preocupación global por una tendencia decreciente en eficiencia y calidad de la industria en la construcción (Uhlík y Loes, 1998). Durante los años sesenta y setenta, los estudios sobre este problema se intensificaron (Emmerson, 1962; Banwell, 1964; NEDO, 1975). A principios de los ochenta aparecieron simultáneamente en Inglaterra y Estados Unidos reportes que señalaron a la fragmentación de la industria y a las ineficiencias de los diseños producidas por una falta de conocimiento constructivo de los arquitectos como causas del problema, marcando el momento fundacional del estudio de la constructividad.

En 1983, la Asociación para la Investigación e Información de la Industria de la Construcción de Inglaterra (CIRIA, *Construction Industry Research and Information Association*) acuñó el término *buildability* o “constructividad” para referirse a “*la manera en la cual el diseño de un edificio facilita su construcción, sujeto a todos los requisitos generales del edificio terminado*” (CIRIA, 1983). El informe de CIRIA se enfocaba en las etapas iniciales del proyecto y en el impacto en la obra de los diseños y equipos diseñadores, señalando que “*las buenas condiciones de constructividad dependen que los proyectistas y constructores sean capaces de contemplar la totalidad del proceso de construcción a través de los ojos del otro*” (Adams, 1990).

Un par de años más tarde en Estados Unidos, investigadores del Instituto de la Industria de la Construcción (CII, *Construction Industry Institute*) —ligada a la Universidad de Texas, Austin— desarrollaron el término *constructability* o “constructabilidad” para referirse a la “*integración óptima del conocimiento y experiencia en construcción en la planificación, diseño, logística y operaciones de obra para alcanzar todos los objetivos del proyecto*” (CII, 1986). Aunque muy similar a la definición de CIRIA, el concepto de constructabilidad tenía una diferencia en alcance, pues abarcaba todas las etapas de proyecto, incluyendo consideraciones de diseño como de gestión. Sin embargo, en un comienzo esta diferencia no fue explícitamente reconocida, y fueron las sucesivas investigaciones que se realizaron durante los años siguientes las que progresivamente definieron las dos diferentes vertientes conceptuales que es posible distinguir hoy (Wong *et al.*, 2007).

Por una parte, el concepto de constructividad fue utilizado por Gray (1983), Ferguson (1989) y Adams (1990), quienes, a pesar de incluir modificaciones personales a la definición de CIRIA, compartieron las ideas principales de facilidad de construcción, rol central del diseño y restricciones dadas por las condiciones de calidad del edificio terminado. Posteriormente, Chen y McGeorge (1994) y Griffith y Sidwell (1997) reforzaron explícitamente la idea que la constructividad está relacionada con la influencia que el diseñador tiene en el nivel de facilidad de construcción. Entre los estudios más recientes destacan los realizados por los investigadores de la Universidad Politécnica de Hong Kong (HKPU, *Hong Kong Polytechnic University*) (Lam *et al.*, 2006; 2007a; 2007b; Lam y

Wong, 2008; Low, 2001; Low y Abeyegoonasekera, 2001; Low *et al.*, 2008a; Wong *et al.*, 2006b; 2007) y el esfuerzo institucional llevado a cabo por la Autoridad de la Edificación y Construcción de Singapur (*BCA, Building & Construction Authority*) por instaurar el concepto en la industria de ese país (BCA, 2005).

Por otra parte, el concepto de constructabilidad fue fundamentalmente desarrollado por investigadores de la Universidad de Texas, CII (1987; 1993) y más tarde por el Instituto de la Industria de la Construcción Australia (*CIIA, Construction Industry Institute Australia*) (CIIA, 1992; 1996), símil del organismo norteamericano. Estas instituciones publicaron una exhaustiva serie de manuales y guías de carácter pragmático, con recomendaciones de gestión de constructabilidad, guías para los equipos profesionales y manuales de implementación de mejora de constructabilidad, especialmente orientadas a la gestión y administración de construcción. Investigadores importantes fueron O'Connor (1985; O'Connor y Tucker, 1986, O'Connor *et al.*, 1987; O'Connor y Davis, 1988), Tatum (1987; Fischer y Tatum, 1997) y Uhlik y Lores (1998). Entre los estudios más actuales destacan investigaciones en países con industrias en desarrollo, especialmente Malasia (Nima *et al.*, 2001a; 2001b; 2004) e Indonesia (Trigunaryah, 2004a; 2004b; 2004c).

Durante todo este período, el concepto de constructividad se ha visto opacado por el concepto de constructabilidad. En un comienzo, los conceptos fueron con frecuencia confundidos e intercambiados (ver, por ejemplo, O'Connor *et al.*, 1987), y posteriormente, el concepto de constructabilidad se hizo favorito entre los autores. Dos razones explican esta preferencia: primero, la mayor amplitud conceptual, que de algún modo envuelve al concepto de constructividad; y segundo, que la mayoría de las investigaciones estuvo radicada en escuelas de ingeniería y de administración de construcción.

El comienzo de la separación explícita de ambos conceptos, y de puesta en valor de la constructividad por sí sola ocurrió a principios del siglo XXI con los trabajos del equipo de investigadores de la Universidad de Hong Kong (Lam *et al.*; 2006; Wong *et al.*, 2006b; 2007) y con la publicación de normas de constructividad para los diseños por parte del gobierno de Singapur. Aún así, el estudio actual sigue estando bajo del dominio de la ingeniería, incluso en lo referido al diseño. Las investigaciones ahondan en la constructividad de los diseños de ingeniería civil estructural e ingeniería mecánica. Un campo importante es el estudio de constructividad de los diseños de instalaciones, especialmente lo referido a detección de colisiones y manipulación de ductos en pequeños espacios de trabajo. El diseño arquitectónico se ha encontrado notoriamente ausente en esta discusión.

## § 1.2. Definición del concepto de constructividad

### § 1.2.1. Constructividad como atributo del diseño

11

Desde la primera definición de constructividad dada por CIRIA en 1983 varias versiones posteriores han sido propuestas, con ligeros matices que complementan y precisan los alcances del concepto. En general, la mayoría de las definiciones comparte los mismos descriptores conceptuales básicos (Wong *et al.*, 2007), pero ninguna reúne todos las precisiones y refinamientos que se han hecho en forma separada por los autores (cuadro 1). A partir de este escenario, este documento propone una definición basada en los acuerdos logrados, que recoge las más importantes precisiones realizadas y que las complementa haciendo énfasis en su condición de atributo del diseño, y recalcando su carácter observable, graduable y medible.

CONSTRUCTIVIDAD
<i>“la manera en la cual el diseño de un edificio facilita su construcción, sujeto a todos los requisitos generales del edificio terminado” (CIRIA, 1983)</i>
<i>“la manera en la cual un diseño facilita el uso eficiente de los recursos de construcción y aumenta la facilidad y seguridad de construcción en obra, al tiempo que los requerimientos del cliente son cumplidos” (Lam et al., 2006)</i>
<i>[la constructividad de un diseño se refiere] “a la facilidad con la cual las materias primas de todo proceso constructivo (mano de obra, maquinarias y herramientas, materiales) pueden ser combinados por el constructor para completar el proyecto en una manera económica y a tiempo.(...) Intuitivamente, a mayor nivel de constructividad, más eficiencia en el proceso constructivo” (Glavinich, 1995)</i>
<i>[la constructividad] “requiere un compromiso entre hacer un diseño más construible y dar cumplimiento a los distintos factores que influyen el diseño, incluyendo calidad, estética, tiempo y costo” (Griffith, 1987; Citado en Lam et al., 2006)</i>
<i>“la manera en la cual un diseño facilita su construcción” (BCA, 2005)</i>
<i>“la manera en la cual un diseño facilita su construcción, sujeto a todas las restricciones de los métodos y procesos constructivos” (Fischer y Tatum, 1997)</i>
<i>“es un enfoque de diseño que busca eliminar el trabajo no productivo en obra, hacer el proceso de producción más simple, y permitir tener una administración de obra más eficiente” (Emmit, 2002)</i>

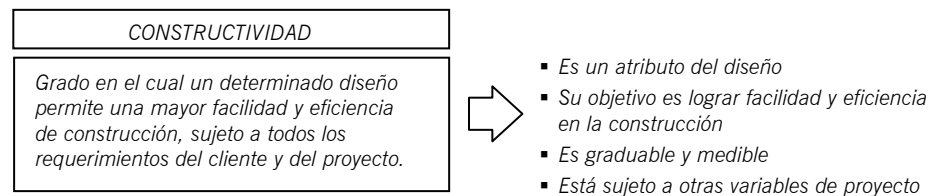
Cuadro 1:  
Principales definiciones  
de constructividad en la  
literatura

A partir de estas definiciones generales, las siguientes precisiones resultan necesarias de enfatizar:

- (1) La constructividad es un atributo del diseño: La constructividad describe la manera en que “un diseño” facilita su posterior construcción; no la manera en que “un proyecto”, “un tipo de administración” o incluso “un equipo profesional” facilita su construcción. La constructividad es un atributo del diseño en sí.
- (2) La constructividad es graduable: La constructividad no es absoluta, sino graduable, lo que implica que todo proyecto tiene un cierto grado de constructividad que va, teóricamente, desde cero hasta infinito. Un diseño tiene un alto grado de constructividad si “*considera atentamente el modo en que se ha de construir el edificio y los condicionantes prácticos que actúan en este proceso*”, mientras que un diseño tendrá un bajo grado de constructividad si “*no tiene en cuenta las realidades prácticas del proceso constructivo o [contiene características de diseño que] están reñidas con ellas*” (Adams, 1990)
- (3) La constructividad es medible: La constructividad es un atributo que, teóricamente, se puede graduar, medir y comparar; lo que, sin embargo, no implica que sea posible hacerlo fácilmente hoy (Glavinich, 1995). Todavía no existen sistemas universales para medir la constructividad de un diseño bajo criterios objetivos (Low, 2001).
- (4) La constructividad está sujeta a otras variables de proyecto: La constructividad está condicionada a ciertos requerimientos generales del cliente o del mismo proyecto, los que en ocasiones pueden entrar en conflicto y obligar a aceptar un diseño con un grado menor de constructividad. Esto quiere decir que es posible, probable y aceptable que en ciertas situaciones las exigencias de constructividad deban ser postergadas por otras consideraciones más importantes según los objetivos y requerimientos específicos del cliente y del proyecto, obligando a los diseñadores a mantener siempre la capacidad de tomar decisiones en forma sistémica.

Considerando lo anterior, en este documento la constructividad se define como: “el grado en el cual un determinado diseño permite una mayor facilidad y eficiencia de construcción, sujeto a todos los requerimientos del cliente y del proyecto” (figura 3).

Figura 3:  
Definición de  
constructividad



## § 1.2.2. Diferencia entre constructividad y constructabilidad

Constructividad y constructabilidad son dos términos frecuentemente confundidos o asumidos como equivalentes. No obstante su aparente semejanza, existe una importante y significativa diferencia en sus alcances (Wong *et al.*, 2006b), y es crucial establecerla claramente, a fin de erradicar esta confusión generalizada. La constructividad se refiere al grado en el cual un determinado diseño permite una mayor facilidad y eficiencia de construcción. La constructabilidad, en cambio, se refiere a la gestión eficiente del conocimiento y experiencia en construcción para optimizar todas las etapas de desarrollo del proyecto y lograr cumplir los objetivos de proyecto con los menores recursos posibles (cuadro 2). Por lo tanto, la diferencia fundamental radica en que mientras la constructividad es un atributo del diseño, la constructabilidad es un enfoque en la administración de proyectos (cuadro 3).

Ambos conceptos comparten el propósito final de lograr facilidad de construcción a fin de optimizar los recursos productivos y cumplir con los objetivos de proyecto de la forma más eficiente posible. Sin embargo, la constructividad se relaciona exclusivamente con la etapa de diseño, mientras que la constructabilidad se relaciona con la gestión de todas las etapas del desarrollo de proyecto (CII, 1986; Lam *et al.*, 2006; Wong *et al.*, 2006b; Wong *et al.*, 2007; Gimenez y Suarez, 2008).

Como se ha expuesto en § 1.1.3., dado que el concepto de constructabilidad es más amplio, y de alguna forma envuelve en su alcance a la constructividad, es habitual encontrar que los investigadores —especialmente en el área de gestión de la construcción— lo han preferido, sugiriendo incluso descartar el uso del segundo (Wong *et al.*, 2007; Griffith y Sidwell, 1997). Sin embargo, en este estudio, así como aquellos centrados en la etapa de diseño, la especificidad y precisión del término constructividad es la más adecuada.

CONSTRUCTABILIDAD
<i>“es la integración óptima del conocimiento y experiencia en construcción en la planificación, diseño, logística y operaciones de obra para alcanzar todos los objetivos del proyecto” (CII, 1986)</i>
<i>“es la integración del conocimiento de construcción en el proceso de gestión del proyecto equilibrando las varias condicionantes ambientales [externas] y del proyecto [internas] para cumplir los objetivos y obtener un rendimiento de edificio de óptimo nivel” (CIIA, 1996)</i>
<i>“se refiere a la habilidad para planificar, diseñar y construir un edificio cumpliendo los niveles de calidad efectiva y económica, sujeto a los objetivos generales del proyecto” (Low, 2001)</i>

Cuadro 2:  
Algunas definiciones de constructabilidad en la literatura

Cuadro 3:  
Diferencias entre  
constructividad y  
constructabilidad

<i>CONSTRUCTIVIDAD</i>	<i>CONSTRUCTABILIDAD</i>
<i>Atributo del diseño</i>	<i>Enfoque de administración</i>
<i>Se define en la etapa de diseño</i>	<i>Involucra a todas las etapas de proyecto</i>
<i>Depende principalmente de los arquitectos, ingenieros y otros diseñadores</i>	<i>Depende principalmente de los administradores de proyecto y de los constructores.</i>
<i>Ambas tienen como propósito lograr la facilidad de construcción a fin de optimizar los recursos productivos y cumplir con los objetivos de proyectos de la forma más eficiente posible.</i>	

### § 1.2.3. Diferencia entre constructividad y otros conceptos

#### a. Diferencia entre constructividad y factibilidad de construcción

Tanto la constructividad como la factibilidad de construcción describen, en cierta forma, el nivel potencial de concreción física de cierto diseño en un escenario dado. Su diferencia radica en su naturaleza: mientras la factibilidad es un concepto binario (sí-no, un proyecto es factible o no), la constructividad es un concepto gradual, que va desde cero hasta el infinito (un proyecto tiene constructividad alta, media, baja...). Un diseño que exija faenas imposibles de realizar (e.g. estucar manualmente un ducto estrecho por dentro) no es factible de realizar, por lo que tiene constructividad nula (a menos que se realicen cambios en el diseño) Un diseño que incorpore faenas difíciles de realizar pero posibles (e.g. estucar manualmente pilar curvo) es factible, pero tiene baja constructividad. Por último un diseño con faenas fáciles de realizar, sigue siendo factible, pero su constructividad aumenta (cuadro 4).

Cuadro 4:  
Diferencias entre  
constructividad y  
factibilidad de  
construcción

<i>FACTIBILIDAD</i>	<i>CONSTRUCTIVIDAD</i>	<i>INTERPRETACIÓN</i>
<i>No es factible</i>	<i>Constructividad nula</i>	<i>No se puede construir</i>
<i>Es factible</i>	<i>Constructividad baja</i>	<i>Es difícil de construir</i>
	<i>Constructividad alta</i>	<i>Es fácil de construir</i>

### *b. Diferencia entre constructividad e integración diseño-construcción*

Otra confusión usual es la creencia que mayor constructividad se da únicamente por mayor integración de las fases y equipos de diseño y construcción. Efectivamente, cuando el equipo diseñador trabaja de la mano con el equipo constructor desde las más tempranas etapas de proyecto, existe una mayor probabilidad que una mayor cantidad de consideraciones sobre las particularidades de las operaciones de construcción sean tomadas por el diseño. Sin embargo, tal como se describió en § 1.1.2., dadas las condiciones de la industria actual, esto no es siempre posible. En un escenario de fragmentación disciplinar, muchas veces los diseñadores deben contar únicamente con su propia preparación para visualizar las implicancias constructivas en obra que tendrán sus diseños; es justamente cuando el conocimiento específico de constructividad se hace relevante. Por lo tanto, el conocimiento de constructividad es diferente: involucra la habilidad que tienen los diseñadores de situarse en la posición del constructor y anticipar los problemas en obra, sin tener necesariamente a un profesional de terreno integrado al equipo de diseño.

### *c. Diferencia entre constructividad y Gestión de Calidad Total*

La *Gestión de Calidad Total* (GCT o TQM, *Total Quality Management*) es una estrategia de gestión industrial que tiene como objetivo el mejoramiento continuo de todos los procesos organizativos y productivos a fin de lograr total satisfacción del cliente. Por lo tanto, la diferencia entre constructividad y GTC, es que este último es un concepto mayor que se aplica a todo el alcance del proyecto, dentro del cual el mejoramiento de la constructividad juega un papel específico puntualmente dentro la etapa de diseño.

Según la filosofía de la GCT, cada una de las partes involucrada en un proyecto —incluido el mandante, constructor, ingenieros y arquitectos— juega el papel de “proveedor” y “cliente” al mismo tiempo en una cadena continua de relaciones. Por ejemplo, el constructor se entiende como un “cliente” del arquitecto en cuanto espera un “producto” de él (planos, especificaciones). Dentro de esta cadena, la GCT pretende que el producto elaborado por el arquitecto sea de entera satisfacción de sus clientes, incluyendo al cliente-constructor. Un mejoramiento en el grado de constructividad del diseño representa una mejora en la satisfacción del cliente-constructor (el proyecto se puede construir más fácilmente) y por tanto, un mejoramiento en el nivel de calidad total. En otras palabras, dentro del marco conceptual de la GCT, el grado de constructividad es un indicador directo del nivel de calidad del diseño (Arditi *et al.*, 2002), y por tanto, del nivel de calidad del proyecto en general. De hecho, Low y Abeyegoonasekera (2001) han demostrado que los principios de la constructividad son integrables y coincidentes con los conceptos y elementos de las normas internacionales de gestión de calidad ISO 9000 e ISO 9001.

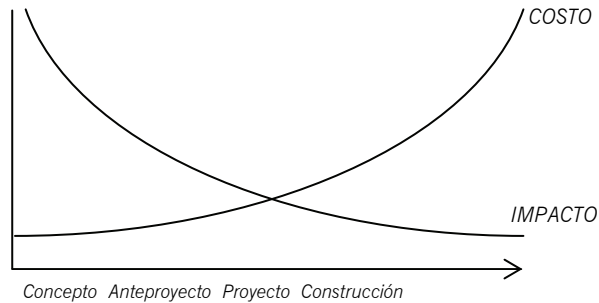
### § 1.3. Importancia de la constructividad como atributo del diseño

16

#### a. Desde el punto de vista del proyecto

Los efectos del mejoramiento de la constructividad del diseño en el nivel de eficiencia del proyecto son “intuitivos” (Glavinich, 1995), “ampliamente conocidos” (Low, 2001) o incluso “obvios” (Lam *et al.*, 2006). En general, la gran ventaja de incorporar conocimiento de los procesos de construcción en el diseño se explica porque entre más tarde se toma una decisión de diseño más costo implica y menor impacto tiene (figura 4)

Figura 4:  
Curva de costo e  
impacto de las  
decisiones de diseño



Está profusamente documentado en la literatura técnica que los principales beneficios de proyectos con mejores grados de constructividad están en la obtención de faenas en obra (1) de mejor calidad, (2) más rápidas, (3) más económicas, y (4) más seguras (Gray, 1983; Russell *et al.*, 1994; Glavinich, 1995; Fischer y Tatum, 1997; Griffith y Sidwell, 1997; Jergeas and Van der Put, 2001; Low S., 2001; Low y Abeyegoonasekera, 2001; Arditi *et al.*, 2002; Fox *et al.*, 2002; Pulaski y Horman, 2005; Trigunarsyah, 2004c; Lam, 2007; Wong *et al.*, 2006b) (figura 5)

- (1) **Calidad:** Diseños con mejores grados de constructividad permiten tener faenas más sencillas y fluidas, acelerar la curva de aprendizaje de la mano de obra, disminuir la tasa de errores y/o no-conformidades, reducir el riesgo técnico, controlar la cantidad de cambios de diseño en obra e, indirectamente, reducir la cantidad de problemas de ocurrencia posterior a la construcción.
- (2) **Tiempo:** Diseños con mejores grados de constructividad permiten tener faenas más rápidas, reducir el tiempo utilizado en reparaciones y/o repetición de tareas por no-conformidades, disminuir la necesidad de capacitación, acortar los desplazamientos de mano de obra y maquinarias, y en general, disminuir el tiempo total de construcción. Indirectamente, afecta favorablemente en tiempo de trabajo del arquitecto y equipo proyectista, al reducir la cantidad de consultas que se le hacen desde obra y reducir la atención de reclamaciones posteriores por trabajos defectuosos.

- (3) Costo: Inicialmente, mayor grado de constructividad parece tener un mayor costo pues se requieren equipos diseñadores con mayor pericia, materiales adecuados y sistemas constructivos más simples y eficientes, los que son más caros. Sin embargo, al analizar el ciclo de vida del proyecto, los costos totales caen drásticamente (CIRIA, 1983; Gray, 1983; CII, 1987; CII, 1993; Adams, 1990; Pulaski y Horman, 2005; Wong *et al.*, 2006b). Soluciones de diseño más simples implican ahorro por repetición de tareas mal ejecutadas o no-conformidades, optimización de materiales, menor necesidad de supervisión y menor cantidad de desperdicios. A largo plazo, los costos de mantenimiento y/o reparación del edificio también decrecen, lo que representa ahorro para el usuario y para el constructor (post-venta).
- (4) Seguridad: Tareas más sencillas implican menor riesgo para los trabajadores y maquinarias, lo que aumenta el nivel de seguridad de obra.

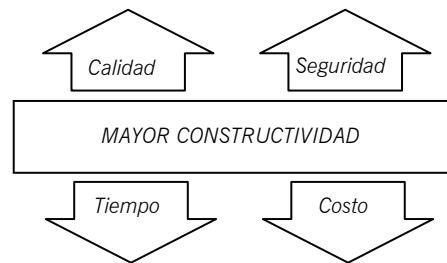


Figura 5:  
Beneficios de mayor  
constructividad en los  
diseños

Contradiendo el temor intuitivo de los arquitectos, mejoras en constructividad no implican necesariamente sacrificios en otros aspectos del diseño. Low y otros han demostrado que cambios en los diseños para optimizar el grado de constructividad tienen nulo impacto en la calidad espacial, acústica, lumínica y del aire interior de los recintos (Low *et al.*, 2008a; 2008b). Por el contrario, tienen asociada una leve mejora en la calidad estructural del proyecto (Low, 2001) y en el desempeño durante su ocupación (Low *et al.*, 2007). Recientemente Pulaski *et al.* (2006) demostraron que los principios básicos de la constructividad son compatibles y mutuamente beneficiosos con el diseño sustentable (o “sostenible”).

Desde el punto de vista del cliente, el ahorro global producto de la disminución de costos de construcción producto de la mayor eficiencia, presenta una oportunidad para que el equipo diseñador pueda mejorar el diseño, elevar los estándares de cumplimiento y desarrollar otras características no inicialmente contempladas en la definición de objetivos. Mejorar la constructividad permite al cliente tener un mejor proyecto al mismo costo inicial.

*b. Desde el punto de vista de la industria*

Diseños con mejores grados de constructividad permiten alcanzar mejor calidad en el producto final, menores costos, menor tiempo de construcción y mayor seguridad para cada proyecto y obra en particular, lo que en definitiva significa mayor productividad y rentabilidad para la empresa. La relación positiva entre constructividad y productividad ha sido estadísticamente demostrada (Low, 2001), y diferentes autores han intentado cuantificar los beneficios económicos de implementar programas de mejora de constructividad (como parte de programas más amplios de mejora de constructabilidad). El *Business Roundtable (EEUU)* (1982; en Pulaski y Horman, 2005) señaló que los beneficios varían entre 10 a 20 veces el costo de implementación y el CII (1993) lo estimó en 10 veces. Gray (1983) afirmó que los ahorros totales fluctúan entre un 1 y un 14% del costo de capital total, CII (1993) concluyó que varían entre 6 y 23% del costo total, y Russell y Gugel (1993) constataron un ahorro de un 7.2% en el costo total para un caso específico de estudio.

Los ahorros no sólo están explicados por faenas de construcción más rápidas y eficientes. Por ejemplo, diseños con mayores grados de constructividad implican faenas en obra más simples y más seguras, lo que reduce los accidentes laborales y los costos humanos y económicos asociados. A corto plazo, se generan ahorros directos para el proyecto, pero a largo plazo, la empresa puede reducir costos de primas de seguros y convenios médicos o mejorar su posicionamiento en el mercado.

Mayor productividad en el proceso implica mayor competitividad para la empresa, lo que a la larga impacta positivamente en el crecimiento y desarrollo de la industria de la construcción en general. En términos de competitividad-país, una industria más productiva es capaz de participar en mercados internacionales más agresivos y de mayor nivel de desarrollo. Por ejemplo, en el contexto industrial mundial, con tratados de libre comercio cada vez más amplios y tecnologías de comunicación que prácticamente eliminan las barreras geográficas, es perfectamente posible pensar en un mercado proveedor de servicios de diseño con alta constructividad a escala global.

Los beneficios no sólo representan mejoras de productividad y rentabilidad para la empresa, sino que a la larga son traspasados al cliente y el consumidor final. La historia económica enseña que en casos de mejora de eficiencia sobre un producto, luego de una primera etapa de beneficio interno (los ahorros de obra producto de mejor diseño los disfruta el mandante y las empresas), los beneficios son externalizados al consumidor como una herramienta de competitividad.

Lam *et al.* (2007) señalan que además de los beneficios tradicionales directos (calidad, tiempo, costo, seguridad), mejoras de constructividad en los diseños desencadenan progresos en las relaciones industriales, promueven el trabajo en equipo y la satisfacción de los empleados, facilitando el trabajo y creando un mejor ambiente gremial.

### c. Desde el punto de vista del arquitecto

La mejora de la constructividad de los diseños no sólo beneficia al cliente y a las empresas, sino que también impacta positivamente en el propio trabajo del equipo diseñador.

19

En primer lugar, el arquitecto y equipo diseñador reciben beneficios económicos directos, dado que los diseños con mayor grado de constructividad representan productos con mayor valor agregado, y por ende, de mayor costo. En general la industria está altamente dispuesta a pagar equipos diseñadores que entreguen proyectos con mayor constructividad, pues dentro del presupuesto total de un proyecto, el mayor costo de diseño es infinitamente inferior al beneficio producido por los ahorros en la construcción.

Consecuentemente, los diseños con mejor constructividad son más valorados por la industria y por tanto otorgan reconocimiento profesional (Arditi *et al.*, 2002), constituyéndose en verdaderas herramientas de diferenciación y desarrollo profesional, lo que igualmente genera beneficio económico.

En segundo lugar, el arquitecto y equipo diseñador reciben beneficios económicos indirectos dados por un ahorro de costos debido a la menor necesidad de coordinación posterior, resolución de dificultades y problemas de obra o necesidad de rehacer diseños. Se evitan los costos de los problemas de diseño tales como visitas a obra, re-estudio de soluciones o incluso problemas por litigios legales.

En tercer lugar, diseños con mejor nivel de calidad tiene un beneficio personal no económico en términos de satisfacción profesional. Adams (1990) señala que diseñar con buenos grados de constructividad “*incrementa el orgullo profesional del proyectista [al] ver que su experiencia, habilidad e ingenios dan resultados*”.

Por último, diseñar con buenos grados de constructividad es una obligación ética profesional. Muchos de los problemas en la industria se deben a una fragmentación irresponsable del trabajo y en el traspaso negligente al constructor de toda la responsabilidad de lo que ocurre en obra, a pesar que gran parte de los errores están implícitos en el diseño. Pensar en la constructividad de los diseños implica asumir la responsabilidad que el diseño tiene sobre la construcción y sobre la eficiencia del proceso.

## 2. Conocimiento de constructividad

---

20

### § 2.1. Descripción del conocimiento de constructividad

---

#### § 2.1.1. Características del conocimiento de constructividad

##### *a. De naturaleza principalmente tácita*

El estudio del conocimiento revela que el conocimiento experto (*expertise*) —dentro del cual se incluye el conocimiento de constructividad— puede existir en dos diferentes formas: como conocimiento tácito o como conocimiento explícito (Nonaka y Takeuchi, 1995). El conocimiento tácito existe únicamente en las mentes de los expertos y no se puede articular en forma escrita. Se asocia a experiencias, habilidades, visiones o intuiciones que pueden ser tanto técnicas (el “saber hacer” o *know-how* de alguien con mucha experiencia) como generales (valores, creencias, percepciones). El conocimiento explícito, en cambio, existe en la forma de documentos escritos, gráficos, manuales, guías o datos concretos. Es un conocimiento consistente y ordenado, reusable y de fácil transferencia (Egbu y Robinson, 2005) (Cuadro 5).

Aún cuando el conocimiento tácito es de difícil formalización y transferencia, es el más valioso y de mayor relevancia en las tareas de diseño. Nonaka y Takeuchi (1995) han señalado que, en general para cualquier área, aproximadamente un 80% del conocimiento experto existe en la forma de conocimiento tácito. En el campo de la constructividad, Hanlon y Sanvido (1995) notablemente confirmaron este porcentaje indicando que “*un 83% del conocimiento de constructividad no está escrito de ninguna forma y reside en las mentes de los expertos*” (en: Pulaski y Horman, 2005). Sin embargo, esta proporción no es constante durante el proceso de diseño: Al-Ghassani (2003) explicó que durante la primera fase de diseño conceptual alrededor de un 80% del conocimiento usado es

tácito y un 20% explícito; mientras que en la etapa de desarrollo y diseño de detalles este porcentaje se revierte a un 80% explícito y 20% tácito (en: Egbu y Robinson, 2005) (figura 6). Esta dualidad, aunque no simétrica, implica que para transferir completamente el conocimiento —por ejemplo en el contexto de educación de arquitectura— diferentes sistemas o métodos son necesario de articular y complementar conjuntamente. Ni el conocimiento explícito o el tácito son suficientes por sí solos.

CONOCIMIENTO TACITO	CONOCIMIENTO EXPLICITO
<i>Reside en las mentes de los expertos</i>	<i>Existe como documentos escritos o registros formalizados</i>
<i>Experiencias, habilidades</i>	<i>Datos concretos</i>
<i>No se puede articular, difícil transferencia</i>	<i>Es ordenado y consistente, de fácil de transferencia</i>

Cuadro 5:  
Diferencias entre  
conocimiento tácito y  
explícito

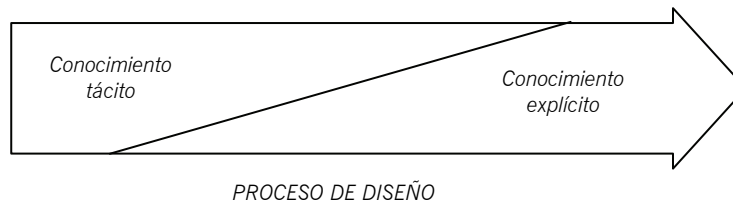


Figura 6:  
Relación entre  
conocimiento tácito y  
explícito durante el  
proceso de diseño

### b. Es principalmente procedimental e instrumental

El conocimiento de constructividad es mayoritariamente procedimental (“saber hacer algo”) e instrumental (“hacer algo para lograr obtener otra cosa”). Es mayoritariamente *procedimental* en cuanto un arquitecto con conocimiento de constructividad lo que sabe es “hacer algo” específico: diseñar con elevados grados de constructividad. Es importante aclarar que aunque usualmente el conocimiento procedimental es reducido a sólo “saber-cómo” (*know-how*) (e.g., saber cómo calcular el espaciamiento entre tabiques para una faena de montaje cómoda); en realidad, involucra además “saber-qué” (*know-what*) (e.g., saber cuáles son las herramientas que se deben utilizar para determinado procedimiento constructivo o cuáles son las condiciones de almacenamiento de cierto material) y “saber-porqué” (*know-why*) (e.g., saber porqué ocurre la retracción de fragua y porqué ciertas características de diseño pueden reducirla o aumentarla).

Es *instrumental* en cuanto es una herramienta que ayuda y respalda el proceso de diseñar (objetivo final). Específicamente, dentro del proceso de diseño el conocimiento de constructividad tiene dos funciones básicas: (1) detección de problemas (*problem-seeking*) y (2) solución de problemas (*problem-solving*) (Vanegas *et al.*, 1988). Para la función de detección de problemas, el conocimiento de constructividad permite adelantar posibles conflictos en obra, dificultades técnicas prácticas, y en general, entender los aspectos claves del proceso constructivo que definen el problema de diseño. En cierto modo, el conocimiento de constructividad agrega una capa adicional de información al proceso de diseño, haciendo el problema más complejo pero más exacto. Para la función de solución de problemas, el conocimiento de constructividad otorga información adicional para proveer y comparar alternativas de solución, facilitando el proceso de generación, evaluación y selección del diseño (cuadro 6).

Cuadro 6:  
Rol del conocimiento  
de constructividad en el  
proceso de diseño

PROCESO DE DISEÑO	ROL DEL CONOCIMIENTO DE CONSTRUCTIVIDAD
Análisis	Entender el problema
Generación	Proveer alternativas
Evaluación	Comparar alternativas
Decisión	Seleccionar alternativas

### c. Es conocimiento relacional

Es habitualmente convenido que el conocimiento de constructividad se expresa en términos de relaciones entre (1) características de desempeño de los procedimientos constructivos y (2) características del objeto diseñado. En otras palabras, la constructividad relaciona *variables de proceso* (construcción) con *variables de producto* (edificio) (figura 7). Por ejemplo, los problemas de terminación por cortes de hormigonado en muros de hormigón arquitectónico (desempeño de proceso) se pueden simplificar si se diseñan canterías que más o menos coincidan con las alturas de llenado (característica de producto). El principal problema es que las variables no están estandarizadas, por lo que “*cada persona define los procesos y productos de construcción de una manera ligeramente diferente*” (Hanlon y Sanvido, 1995). Más aún, dado que el diseño es por esencia integrador, las relaciones producto/proceso son dependientes de múltiples factores y altamente variables, incluso dentro de un mismo proyecto. Por esto, para poder realizar un análisis correctamente, las relaciones de constructividad deben siempre examinarse *ceteris paribus*, es decir, con todo lo demás constante.

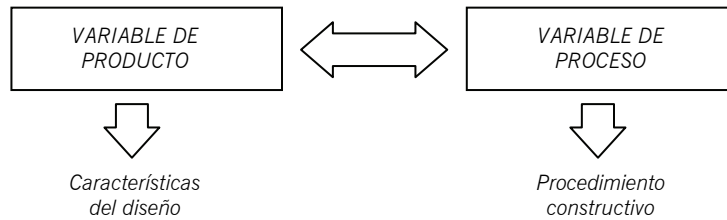


Figura 7:  
Relación entre variables  
de producto y proceso

#### d. Es dependiente de su contexto físico y temporal

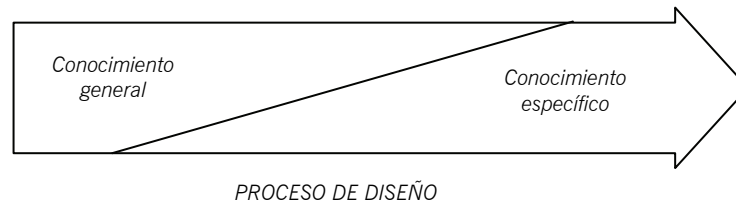
El conocimiento de constructividad no es absoluto: depende intensamente de su contexto temporal y físico. Una solución particular que otorga más constructividad a un diseño en un cierto contexto de proyecto puede restarla en otro. Varía según el lugar y sus condiciones específicas, según las restricciones materiales del proyecto, según las condiciones culturales de las personas, según las características organizacionales de las empresas, pero sobre todo, según las condiciones de avance tecnológico. El conocimiento de constructividad actualmente válido será transformado completamente durante los próximos 20 años debido a cambios en la forma y fondo de la industria de la construcción. Esta característica de conocimiento dinámico, relativo y circunstancial impide su generalización total y dificulta su transferencia. Sin embargo, esto no quiere decir que sea incoherente o fortuito. Fischer y Tatum (1997) demostraron que el conocimiento de constructividad existe como tal, que es consistente y que una parte importante de él puede ser formalizado y relacionado a variables generales de diseño, aplicable a todos o casi todos los contextos de diseño, aún cuando los valores específicos cambien de situación en situación. Son precisamente estas líneas generales inmutables las que lo convierten en un cuerpo de conocimiento identificable por sí mismo, y sobre las cuales se extiende en detalle la segunda parte de este libro.

#### e. De especificidad graduable

El conocimiento de constructividad tiene especificidad graduable, lo que quiere decir que existe conocimiento de constructividad de tipo *general*, asociado a ideas o conceptos que son aplicables a la mayoría de los proyectos, y conocimiento de constructividad de tipo *específico*, asociado a detalles y aspectos puntuales de cada proyecto o situación en particular. Sin embargo, ambos están estrechamente relacionados y se complementan mutuamente. El conocimiento general requiere del respaldo del conocimiento específico y el conocimiento específico requiere de la visión dada por el conocimiento general para mantener el foco en un problema dado (Vanegas *et al.*, 1988). Ambos tipos de conocimiento son relevantes y necesarios; no obstante su importancia relativa varía a lo largo del proceso de diseño. El conocimiento general es prioritario durante las primeras etapas del

diseño y el específico es necesario para las etapas de desarrollo (figura 8). Vanegas *et al.* (1988) explican que “el tipo de conocimiento equivocado a un nivel dado del proceso de diseño ocasiona más problemas que beneficios. Enfocarse tempranamente en detalles puede causar frustración entre los arquitectos, quienes desean establecer una idea conceptual antes de entrar en detalles. A la inversa, proveer ideas generales cuando se necesita desarrollo de detalles no contribuye a la calidad del diseño”.

Figura 8  
Relación entre  
conocimiento general y  
específico durante el  
proceso de diseño



#### f. Altamente fragmentado y disperso

Aunque existe y está disponible, el conocimiento de constructividad está fragmentado y disperso, es difícil de encontrar y más difícil aún de aplicar (Fischer y Tatum, 1997). Es *fragmentado* porque no existe conocimiento que sea integral y completo, ni siquiera sobre un punto en específico. Para cualquier tópico el conocimiento de constructividad disponible es insuficiente y discontinuo; sólo se tienen fragmentos de información. En el mejor de los casos, existe con suficiente continuidad como para poder resolver un problema específico de diseño; y en el peor, la discontinuidad es tal que es necesario generar conocimiento adicional para enfrentar el diseño. Normalmente, la situación común es justo el punto intermedio: el conocimiento existe, pero es necesario organizarlo para construir la continuidad.

Es *disperso* porque reside en las mentes de los expertos, que se encuentran circunstancialmente distribuidos espacial y temporalmente, y por tanto, aún cuando existiera conocimiento continuo, es en la práctica difícil de agrupar, compilar y utilizar.

El principal problema es, no obstante, que no hay mecanismos de sistematización, ni ordenación ni transferencia metódica específicos para conocimiento de constructividad que sean reconocidos, así como tampoco estructuras que relacionen el conocimiento de constructividad con los procesos de diseño en forma clara (Fischer y Tatum, 1997; Hanlon y Sanvido, 1995). Existen iniciativas aisladas, pero están escasamente documentadas, inarticuladas entre sí, discordantes en su forma, e incluso a veces divergentes en forma y fondo.

<i>CARACTERÍSTICAS DEL CONOCIMIENTO DE CONSTRUCTIVIDAD</i>	
<i>Naturaleza tácita</i>	<i>Reside en las mentes de los expertos, no se puede articular, es de difícil transferencia</i>
<i>Procedimental e instrumental</i>	<i>Saber-cómo, saber-qué y saber-porqué Sirve para la detección de problemas y para la solución de problemas</i>
<i>Relacional</i>	<i>Relaciona variables de proceso (obra) con variables de producto (diseño)</i>
<i>Dependiente del contexto</i>	<i>Varía según las condiciones del contexto físico y temporal</i>
<i>Especificad graduable</i>	<i>Existe conocimiento general y específico</i>
<i>Fragmentado y disperso</i>	<i>No existe conocimiento integral, completo ni continuo.</i>

*Cuadro 7:  
Características del  
conocimiento de  
constructividad*

## § 2.1.2. Producción y transferencia del conocimiento de constructividad

26

El conocimiento de constructividad es de naturaleza experiencial, lo que significa que se crea en las mentes de los individuos fundamentalmente a través de la propia experiencia personal. Específicamente, se crea a través de la propia la experiencia en el diseño y luego evaluación en la etapa de construcción; una suerte de proceso continuo de ensayo-error y posterior teorización o reflexión sobre ese proceso (Schon, 1983; Kululanga y McCaffer, 2001). Por lo tanto, el principal método para la creación de conocimiento de constructividad es una mezcla entre experiencia (en la propia acción), reflexión (sobre los resultados de los propios diseños) y crítica (de pares o de retroalimentación desde obra). Considerando que este proceso es por definición personal e interno, el conocimiento creado es mayoritariamente de naturaleza tácita (*vid. §§ 2.1.1.a.y 2.1.1.f.*); lo que tiene por consecuencia que los mecanismos de transferencia resulten particularmente complejos.

Para entender los mecanismos de producción y transferencia de conocimiento de constructividad, es necesario revisar primero el esquema general de 4 tipos de transferencia de conocimiento experto (en cualquier aérea) propuesto por Nonaka y Takeuchi (1995): (1) tácito/tácito, (2) tácito/explicito, (3) explícito/tácito y (4) explícito/explicito (figura 9). Más tarde, Kuluganga y McCaffer (2001) y Egbu y Robinson (2005) confirmaron como estos mismos 4 tipos se aplican en un contexto de transferencia de conocimiento de constructividad.

- (1) Tácito → tácito: La interacción entre conocimiento tácito/tácito se da a través del proceso de *socialización* entre individuos. Las explicaciones que un arquitecto hace sobre sus diseños a un cliente, la enseñanza oral de un maestro a un aprendiz en obra, o la educación que reciben los estudiantes durante la práctica profesional, son ejemplos de transferencia por socialización.
- (2) Tácito → explícito: El proceso por el cual el conocimiento tácito se formaliza y se hace explícito se denomina *externalización*. Un arquitecto que resuelve un problema en obra a través de una modificación de proyecto que incluye instrucciones escritas para el constructor, o un profesor que utiliza su conocimiento tácito para escribir un manual de diseño y construcción con un material específico representan ejemplos de externalización.
- (3) Explícito → tácito: El proceso inverso a la externalización, mediante el cual el conocimiento explícito se vuelve tácito se denomina *internalización*. Un estudiante estudiando un libro de construcción o un arquitecto estudiando la documentación de un proyecto para crearse un modelo mental propio representan ejemplos de internalización.
- (4) Explícito → explícito: La interacción entre conocimiento explícito/explicito se denomina *combinación*, y se da cuando diferente conocimiento explícito previo es combinado para crear una nueva unidad. Un constructor que sintetiza diferentes presupuestos de contratistas para crear un presupuesto general o el intercambio de documentación técnica y especificaciones que se da entre arquitectos y especialistas son ejemplos de combinación.

	TÁCITO	EXPLÍCITO
TÁCITO	Socialización	Externalización
EXPLÍCITO	Internalización	Combinación

Figura 9:  
Interacción conocimiento  
tácito y explícito  
(Nonaka y Takeuchi,  
1995)

Dentro de este esquema, los dos mecanismos más relevantes para transferir conocimiento de constructividad son (1) la socialización y (2) la externalización.

### a. Socialización

La operatoria básica de la socialización de conocimiento involucra observación, imitación y práctica (Egbu y Robinson, 2005). La socialización se da cuando hay contacto directo entre individuos en un contexto productivo y se intercambian experiencias significativas que pueden ser replicadas en escenarios similares. Por lo mismo, la socialización parece ser el mecanismo más usado y el de más valor para transferir conocimiento de constructividad dentro de una comunidad profesional (Johnson *et al.*, 2002; Nonaka y Toyama, 2003; Woo *et al.*, 2005), y particularmente dentro de las comunidades de arquitectos (Schon, 1983; Cross y Cross, 1995).

La socialización puede ser interna o externa. La *socialización interna* es aquella que se da al interior de un mismo equipo de trabajo, como el aprendizaje que existe en las prácticas profesionales o entre los diferentes profesionales que participan de un mismo proyecto. La *socialización externa* es aquella que se da entre individuos de diferentes equipos productivos que conforman una *comunidad de práctica* (CoP) —grupo de personas que comparten un interés o actividad y que se reúnen con el fin de compartir reflexiones sobre experiencias prácticas (Wenger, 1998)—, tales como las asociaciones gremiales y profesionales, grupos industriales, o grupos empresariales (cuadro 8).

Socialización interna	Ocurre en el contexto de un mismo equipo de trabajo
Socialización externa	Ocurre en el contexto de una Comunidad de Práctica (CoP)

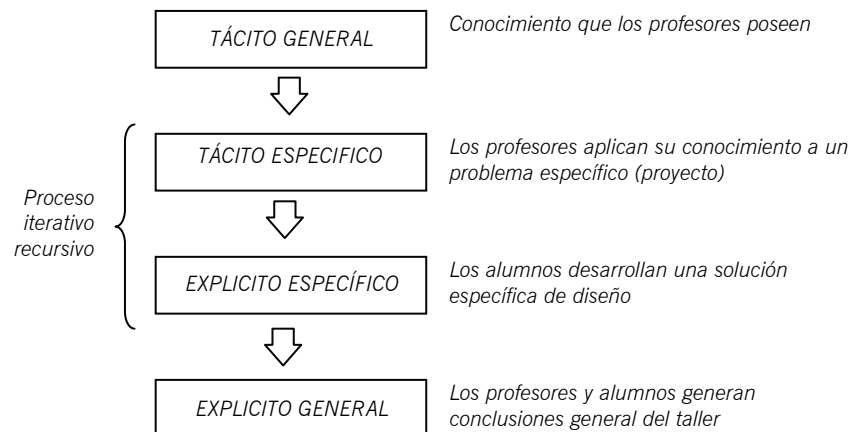
Cuadro 8:  
Diferencias entre  
socialización interna y  
externa

## b. Externalización

La externalización es un proceso de transferencia de conocimiento cuyo mecanismo elemental es la formalización del conocimiento tácito en un soporte explícito que permita ser distribuido en forma independiente. Formalizar conocimiento tácito es un proceso lento y complejo, pero una vez que está hecho, es mucho más fácil y eficiente de transferir. Por ende, el principal potencial de la externalización está en el área de la educación (Schon, 1983; Johnson *et al.*, 2002; Woo *et al.*, 2005). Sin embargo, la externalización sólo debe realizarse “*hasta un cierto límite*”, pues rara vez un cuerpo de conocimiento puede ser completamente formalizado sin perder algunas de sus características originales (Johnson *et al.*, 2002).

De acuerdo con Woo (2005) el proceso de externalización del conocimiento de diseño arquitectónico —dentro del cual se incluye la externalización de conocimiento de constructividad— es gradual con 4 etapas principales: (1) conocimiento tácito-general → (2) conocimiento tácito-específico → (3) conocimiento explícito-específico → (4) conocimiento explícito-general. En el contexto educacional, la transferencia de conocimiento comienza cuando los profesores conversan con los alumnos y convierten su conocimiento tácito-general en conocimiento tácito-específico al considerar las condiciones específicas del problema del diseño. Los estudiantes luego convierten ese conocimiento tácito-específico en explícito-específico al realizar dibujos, modelos, planimetría [y memorias de proyecto] para sus soluciones particulares. Aunque esas expresiones de conocimiento explícito son usualmente insatisfactorias en articular completamente el conocimiento tácito de diseño del profesor, progresivamente se van mejorando en un proceso recursivo e iterativo de práctica reflexiva. Luego, los estudiantes y profesores generalizan el trabajo de todos en conocimiento general-explícito en la forma de trabajos compartidos, recursos de información codificados [e.g., publicaciones] o reflexiones finales (figura 10).

Figura 10:  
Proceso de  
externalización del  
conocimiento de diseño  
y su relación con el  
contexto del taller



## § 2.2. Formalización del conocimiento de constructividad

---

### § 2.2.1. Aproximaciones a la formalización del conocimiento de constructividad

29

Diversos autores han propuesto diferentes mecanismos y modelos para formalizar el conocimiento de constructividad, sin existir todavía un resultado satisfactorio para todos. Aún así, la inmensa mayoría de estas propuestas proviene de investigadores del área de ingeniería, con un nivel medio o bajo de transferencia al diseño arquitectónico, de manera que el problema está todavía lejos de ser resuelto. En general, los formatos han seguido una línea de evolución que comprende (1) conjuntos de recomendaciones generales y/o reglas específicas aisladas, (2) síntesis de factores y/o principios generales transversales, (3) clasificaciones de factores y (4) modelos integradores.

Las primeras aproximaciones fueron compilaciones de reglas generales (*guidelines*), buenas prácticas (*rules-of-thumb*, “reglas de cajón”) y/o reglas específicas para situaciones precisas. CIRIA (1983), CII (1986; 1987), Adams (1990) y CIIA (1992) desarrollaron cada uno conjuntos de guías o recomendaciones derivadas de estructuras de principios o conceptos generales. La misma estructura fue seguida posteriormente por Wright (1994) y Crowther (2002). Tatum *et al.* (1986) y Touran (1988), por su parte, utilizaron conjuntos de guías generales, recomendaciones y buenas prácticas. Más específicos, Boeke (1990) y Fischer y Tatum (1997) desarrollaron reglas específicas de diseño; y Skibniewski *et al.* (1997) definieron una estructura a base de reglas específicas en formato de “Si → Entonces”. Vanegas *et al.* (1988) propusieron un sistema combinado a base de principios generales para las etapas iniciales de diseño y luego reglas específicas para las etapas más avanzadas. Más tarde, Fox *et al.* (2002) discutieron las condiciones formales que deben las reglas tener para ser efectivas.

Consecutivamente, diversos métodos para clasificar y ordenar estas reglas o recomendaciones generales han sido propuestos. Ferguson (1989) propuso una clasificación general de acuerdo al nivel de detalle de la solución de diseño y O'Connor *et al.* (1987) propusieron ordenar principios y reglas específicas en grupos de información que contenían como componentes principales: (1) concepto, (2) análisis y (3) aplicaciones específicas. Fischer y Tatum (1997) propusieron 5 categorías generales para clasificar las reglas/conocimiento de constructividad/constructabilidad: (1) heurísticas de aplicación, (2) conocimiento de *layout*, (3) conocimiento de dimensionamiento, (4) conocimiento de detalles y (5) conocimiento exógeno. Por su parte, Hanlon y Sanvido (1995) propusieron distinguir entre (1) reglas de diseño, (2) lecciones aprendidas, (3) restricciones externas, (4) restricciones de recursos e (5) información de desempeño.

Más tarde, Wong *et al.* (2006b) propusieron una estructura integral de tres niveles de jerarquización de conocimiento: dos grandes áreas (conocimiento de constructividad sobre “*proceso de diseño*” y

conocimiento de constructividad sobre “*producto de diseño*”), 16 categorías de aplicación y 63 “*atributos*” o reglas de diseño. Lam *et al.*, (2007) mantuvieron esta estructura y se concentraron en los factores del terreno y del edificio.

Otras clasificaciones sobre conocimiento de constructividad para áreas específicas fueron realizadas por: Fischer (Fischer 1991; Fischer y Tatum, 1997), para el diseño inicial de armaduras de acero; Boeke (1990), para el diseño de hormigón armado para muros, columnas y fundaciones; Touran (1988), para el diseño de moldajes para hormigón; O'Connor *et al.* (1987), para el diseño de instalaciones; Tatum *et al.* (1986), para el diseño prefabricado y modulado; Hanna (1989) para el diseño de sistemas de moldajes verticales y horizontales (en Hanlon y Sanvido, 1995) y por Hassan (2005) para el diseño de carreteras.

A partir de la información clasificada, modelos integrales de información y conocimiento de constructividad/constructabilidad han sido propuestos. Hanlon y Sanvido (1995) desarrollaron un “*Modelo de Información de Constructabilidad*” (*CIM, Constructability Information Model*) para todas las fases de proyecto, y posteriormente sobre esta base, Pulaski y Horman (2005) propusieron el “*Modelo de Matriz Conceptual Producto/Proceso*” (*CPPMM, Conceptual Product/Process Matrix Model*). Este modelo organiza la información de constructividad (reglas generales) de acuerdo a su aplicación según nivel de detalle y etapa de desarrollo de proyecto.

En una línea similar, pero incluyendo a los diferentes actores en el proceso, Chen y McGeorge (1994) desarrollaron un modelo de integración tridimensional que interrelaciona principios generales (de constructividad), etapa de diseño, y participantes involucrados; Woon (2006) propuso un modelo general de constructividad para el diseño de edificios que describe participantes en el proceso de diseño y respectivos flujos de información; y Formoso *et al.* (1998) propusieron un modelo que describe los actores involucrados, las relaciones entre ellos, sus responsabilidades particulares y flujos de información.

Otros modelos que utilizan técnicas y avances de otras disciplinas han sido propuestos por Zin (Zin 2004; Zin *et al.*, 2004), modelo basado la técnica de redes neuronales artificiales; por Yang *et al.* (2003), modelo basado en la técnica de despliegue de funciones de calidad (*QFD, Quality Function Deployment*) y por Reymen (2001), modelo basado en la técnica de reflexión estructurada.

Modelos de formalización que salen del ámbito académico y son aplicados en la industria son el BDAS (*Building Design Appraisal System*) propuesto por BCA (2005) y el BAM (*Buildable Assessment Model*), (Lam *et al.*, 2006; Wong *et al.*, 2006a). El BDAS es un sistema creado por la Autoridad de la Edificación y Construcción de Singapur (*BCA, Building & Construction Authority*) para medir objetivamente la constructividad de los proyectos. El sistema organiza el conocimiento a base de tres principios de diseño (estandarización, simplicidad y uso de elementos unitarios) que son

aplicados a tres niveles de proyecto (estructura, cerramientos y otros), con la particular característica que es de índole cuantitativo. El BDAS fue desarrollado a comienzos de los noventa por el BCA con la asistencia y directa participación de universidades, empresas constructoras, empresas manufactureras, organismos gremiales y organismos de gobierno, y en 2001 el gobierno aprobó la legislación que obliga a los diseños a cumplir con un mínimo de constructividad. El BAM es un sistema similar, creado a partir del BDAS por la Universidad de Hong Kong, con la intención de ajustarse más correctamente con la realidad de la industria de ese país.

Algunos autores han explorado las posibilidades que entregan las tecnologías digitales para integrar conocimiento de construcción al proceso de diseño. De Vries y Harink (2005) propusieron un modelo para integrar conocimiento de construcción en sistemas CAD; Thabet (1999) propuso un modelo para mejorar la constructabilidad a través de simulación VDC (*Virtual Design and Construction*) y Fischer (2006) propuso un modelo para integrar conocimiento de construcción usando tecnologías BIM y simulación VDC.

Otros modelos no exactamente referidos a conocimiento de constructividad, pero que se relacionan y son ocasionalmente referenciados en la literatura son modelos de productos y modelos de procesos. Modelos de productos han sido propuestos por: Tatum (1988), un sistema de clasificación para tecnologías de construcción; Ioannou y Liu (1993), sistema de clasificación de tecnologías avanzadas de construcción (*Advanced Construction Technology System, ACTS*); Khayyal (1990) modelo de sistemas, subsistemas y componentes de un edificio (*Product Model Architecture, PMA*). Modelos de procesos han sido propuestos por Sanvido *et al.* (1990), modelo de procesos en el desarrollo de diseño y construcción de edificios (*Integrated Building Process Model, IBPM*); Russell (Radtke y Russell 1993; Russell *et al.*, 1994; Gugel y Russell 1994), modelo de procesos en la administración de construcción y rol de los distintos participantes, incluido el mandante.

### § 2.2.2. Formatos para la formalización del conocimiento de constructividad

La formalización de conocimiento de constructividad se ha hecho, sin excepción, por medio de afirmaciones declarativas directas, precisas y breves que buscan “encapsular” un aspecto puntual de una buena práctica de diseño/construcción (Fox *et al.*, 2002). En general, se pueden reconocer cuatro niveles de especificidad, aplicabilidad y detalle en estas declaraciones; sin embargo, las denominaciones particulares que reciben por parte de los autores son muy variables, al punto que se superponen, intercambian y fácilmente se confunden. Como una manera de organización, el cuadro 9 resume los principales términos usados en la literatura, sus equivalencias más comunes, y el término que se utiliza en este documento.

Cuadro 9:  
Principales  
denominaciones de los  
formatos y sus  
equivalencias

EQUIVALENCIAS DE DENOMINACION	
FACTOR	Componente, Consideración, Concepto
PRINCIPIOS	Concepto, Criterios, Bases, Estrategias
PAUTAS	Guías, Estrategias, Guidelines, Recomendaciones
REGLAS	Normas, Guías

Las principales características distintivas de cada formato son (figura 11):

- (1) Factor: Es un indicador general que alerta sobre *lo que debe ser considerado en las decisiones de diseño*. No es prescriptivo. Es propia del (buen) diseño en general, siendo aplicable en la amplia mayoría de las situaciones, aunque con diferencias de intensidad (en cierto diseño un factor puede ser más importante que otro)
- (2) Principio: Es un criterio básico que orienta las decisiones de diseño, señalando *la tendencia generalmente adecuada*. En cierto modo, si el factor indica qué aspectos hay que considerar en una decisión de diseño, el principio señala la orientación hacia la cual se debe tomar la decisión. Es prescriptivo en su nivel más general, a modo de estrategia. Es aplicable a la mayoría de los problemas de diseño en contextos tradicionales.
- (3) Pauta: Es una guía de carácter práctico que *recomienda una decisión de diseño en un contexto específico* y que deriva de la aplicación práctica de un principio en un contexto definido. Es ejecutable, observable y medible. Es prescriptiva directa, a modo de táctica. Es aplicable sólo a los problemas de diseño que comparten el contexto específico en el fue definida.
- (4) Regla: Es una indicación concreta que *restringe directa y explícitamente una decisión de diseño*, incluso en términos cuantitativos. Es prescriptiva en el nivel más específico posible. Sólo es aplicable a los problemas de diseño que comparten las mismas características específicas del contexto en que fue definida. Varía intensamente según los detalles de cada proyecto.

Figura 11:  
Formatos para  
formalización de  
conocimiento

FACTOR	ALERTA sobre lo que debe ser considerado
PRINCIPIO	SEÑALA la tendencia generalmente recomendable
PAUTA	RECOMIENDA una decisión de diseño en un contexto específico
REGLA	RESTRINGE directamente una decisión de diseño

El ordenamiento de estos 4 formatos de formalización según nivel de especificidad, dimensión de conocimiento y orientación de diseño se resume en la figura 12.

Esta estructura general de ordenamiento de conocimiento es semidinámica, con una base común estable y unidades de información que se modifican según las variables situacionales-contextuales específicas de cada proyecto. Los factores y principios de constructividad, en cuanto criterios generales para las decisiones de diseño, se mantienen siempre, pero las pautas y especialmente los valores específicos de las reglas son dependientes del contexto (tecnológico, físico, temporal, humano) en que fueron definidas y sólo son aplicables cuando se repiten las mismas condiciones contextuales. Sin embargo, los 4 distintos formatos están vinculados, de manera que una misma línea de conocimiento puede ser descrita en cada uno de los diversos niveles, con distintas características de especificidad, contextos de aplicación y objetivo de uso según necesidades de conocimiento de constructividad a lo largo del proceso de diseño (*vid. § 2.1.1.e.*).



Figura 12:  
Ordenamiento de los  
diferentes formatos

# 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.

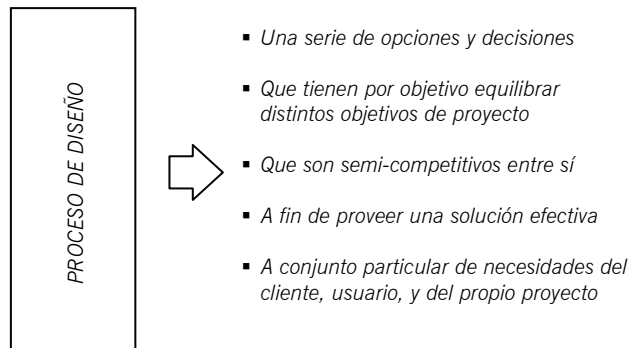


Figura 13:  
Definición del proceso  
de diseño

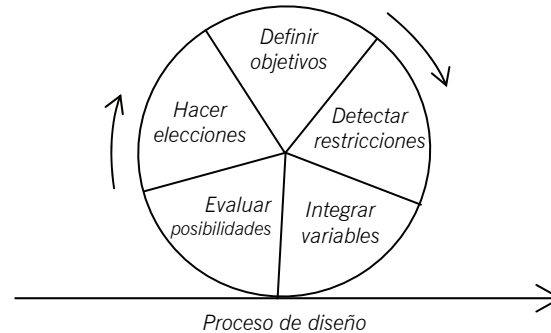
Tradicionalmente, este proceso se ha entendido como una secuencia de etapas consecutivas que progresivamente evolucionan desde fases más “conceptuales” (e.g. partido general) a otras más “concretas” (e.g. detalles constructivos). Por ejemplo, en el modelo tradicional chileno se distinguen como etapas 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.

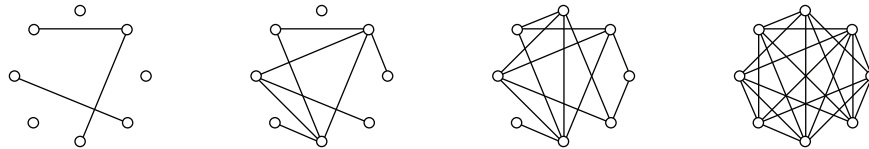
Figura 14:  
Ciclo de análisis  
propuesta en el proceso  
creativo de diseño



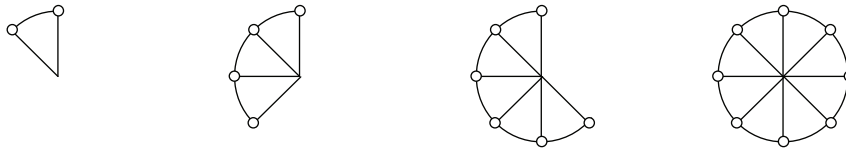
En otras palabras, en vez de diseñar resolviendo linealmente una variable después de otra, en realidad desde un primer momento se enfrenta el problema de diseño con todas las variables en juego, pero enfatizando un grupo distinto en cada ciclo. Las decisiones anteriores se revisan constantemente, repitiendo 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.*

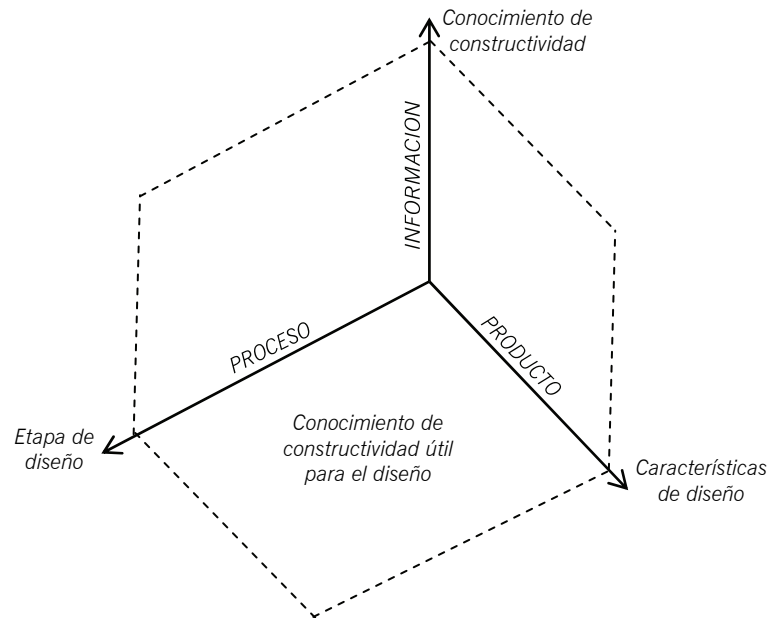
Por lo tanto, a diferencia de lo que la creencia generalizada establece, es un error sostener que el conocimiento relativo a los procesos de construcción deba incorporarse en las etapas finales de desarrollo de detalles o de documentos de construcción. La información de constructividad debe existir e 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.

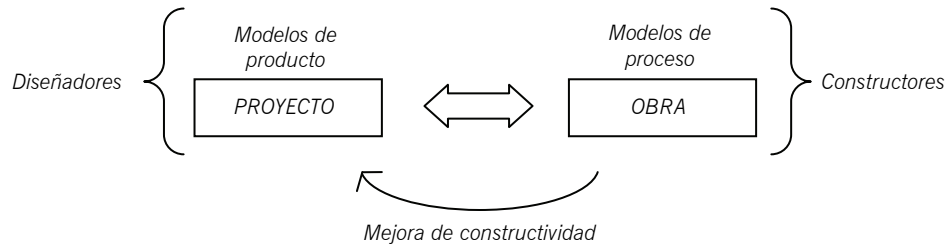
Otro aspecto negativo de las revisiones de expertos es que operan en un mecanismo esencialmente confrontacional, en cual una parte, en calidad de “experto”, revisa y corrige el trabajo de otro. Cuando este proceso no es bien llevado a cabo puede terminar en conflictos al interior del equipo (Glavinich, 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..

# Segunda Parte:

## Sistema de organización del conocimiento de constructividad



# 4. Panorama general de los sistemas de organización de conocimiento de constructividad

---

En los capítulos anteriores se ha revisado que el conocimiento de constructividad no está ordenado ni sistematizado (*vid.* §§. 2.1.1.f. y 2.2.1.) y que los formatos de formalización varían de autor en autor, con una terminología que varía intensamente entre ellos (*vid.* § 2.2.2.). El objetivo de este capítulo es entregar una reseña general de los estudios y avances de formalización de conocimiento que respeta la terminología usada por los autores. En los próximos capítulos (*vid.* §§. 6.1 y ss.) se plantea una estructura unificada bajo una terminología común que permite ordenar, comparar e integrar el conocimiento disponible.

Sin lugar a dudas, CIRIA (1983) y CII (1987) constituyen las bases fundacionales de la formalización de conocimiento de constructividad, con sendas listas de factores, principios y reglas. Sobre ellas, diferentes autores han propuesto nuevas estructuras, complementando con nuevas áreas, puntualizando aspectos específicos o simplemente reordenando y actualizando el trabajo de estas dos instituciones.

CIRIA (1983) establece una estructura a base de 7 principios generales y 24 reglas o recomendaciones específicas derivadas. Es importante destacar que desde un primer momento CIRIA formaliza el conocimiento de constructividad de manera que sea una herramienta útil para los diseñadores; tanto ingenieros como arquitectos. En forma muy similar, CII (1987) establece también 7 principios generales y luego alrededor de 150 aplicaciones específicas derivadas. Sin embargo, CII adopta una posición cercana a la constructabilidad y se enfoca no sólo en la labor de los diseñadores, sino en la de todo el equipo involucrado en el proyecto, incluso el mandante.

El cuadro 10 contiene los enunciados de los principios generales de CIRIA (1983) y CII (1987).

Cuadro 10:  
Principios básicos de  
constructividad según  
CIRIA (1983) y CII  
(1987)

CIRIA (1983)	CII (1987)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Desarrollar una investigación rigurosa [del terreno y otras circunstancias]</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Diseño y programación están guiados por las necesidades de los procesos constructivos</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Planificar considerando las necesidades esenciales del sitio de construcción</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Diseños están configurados para facilitar una construcción eficiente</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Planificar para una secuencia práctica de operaciones y un pronto cerramiento</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Los elementos de diseño están estandarizados y se maximiza su repetición</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Planificar para un montaje simple y secuencia lógica de actividades</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Los elementos prefabricados son preparados para facilitar la fabricación, transporte y montaje</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Realizar detalles con el máximo de repetición y estandarización</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Los diseños facilitan la accesibilidad de mano de obra, materiales y equipos.</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Realizar detalles con tolerancias alcanzables</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>El diseño facilita la construcción bajo condiciones climáticas adversas</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Especificar materiales adecuados y robustos</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Mandante, diseñador y constructores revisan las especificaciones en detalle y simplifican los procesos constructivos en terreno</i></li> </ul>

A partir de los trabajos de CIRIA y CII, diferentes autores elaboran sus respectivas propuestas.

Adams (1990) establece una estructura a base de tres criterios principales (simplicidad, normalización y comunicaciones claras) y 15 “principios” de proyecto, en su mayoría, derivados del trabajo de CIRIA. Ejemplos de estos principios son: “prever el mínimo tiempo de trabajo bajo rasante [nivel]”, “pensar en las características de la mano de obra disponible”, “planear para la máxima repetición/normalización”, “utilizar la maquinaria al máximo”, etc.

Posteriormente, Zin (2004) se basa fuertemente en el trabajo de CIRIA y Adams, y postula 18 “principios” enfocados directamente en la etapa de diseño. En general, respeta los principios de los dos autores iniciales, complementándolos, precisándolos y agregando propios del desarrollo técnico (“utilizar herramientas de visualización, tales como modelos 3D, para evitar interferencias físicas”)

Por otra parte, O'Connor (O'Connor, 1985; O'Connor y Tucker, 1986; O'Connor *et al.*, 1987; O'Connor y Davis, 1988) es el principal investigador detrás del trabajo del CII. Conjuntamente con

otros autores, desarrolla una serie de trabajos que primero sirvieron como base para el documento propuesto por la organización, y posteriormente, como complemento.

CIIA (1992, 1996) es el símil australiano del CII, y su trabajo recoge el enfoque americano que considera todas las etapas de proyecto y se concentra en el nivel administrativo. Postula 13 “conceptos generales” que deben ser considerados por todos los responsables de proyecto (planificadores, diseñadores, constructores, administradores, etc.): “(1) *integración*, (2) *conocimiento constructivo*, (3) *trabajo en equipo*, (4) *objetivos corporativos*, (5) *recursos disponibles*, (6) *factores externos*, (7) *programa*, (8) *métodos de construcción*, (9) *accesibilidad*, (10) *especificaciones*, (11) *innovación en construcción* y (12) *retroalimentación*”.

Nima *et al.* (2001) proponen 23 “conceptos” que abarcan todas las etapas de proyecto, de los cuales 8 se refieren específicamente a la etapa de diseño; 7 son para la etapa de planificación, y 8 para la etapa de construcción.

Más recientemente, Wong *et al.* (2006b) desarrollan una nueva estructura basada en un análisis amplio de la literatura y en investigaciones de campo, proponiendo una estructura de dos categorías generales (“*proceso de diseño*” y “*producto de diseño*”), 16 sub-categorías o factores principales y 63 “atributos” específicos. La estructura planteada cubre en gran medida todas las sub-categorías o factores previamente contemplados y mantiene un enfoque claro en el diseño, por lo que conceptos como “situación contractual” quedan fuera. Sin embargo los atributos son bastante específicos, y por lo tanto es una lista de difícil generalización.

Lam *et al.* (2007) respeta la estructura de Wong *et al.* (2006b), y se concentra en profundizar los factores relacionados con el terreno y las características del diseño del propio edificio.

BCA (2005) entrega la única propuesta oficial de todas las enunciadas, siendo parte de la normativa de construcción de Singapur. La Autoridad de la Edificación y Construcción de Singapur (BCA, *Building & Construction Authority*) propuso en la década de los noventa un sistema para medir objetivamente la constructividad de los proyectos conocido como BDAS (*Building Design Appraisal System*). El BDAS reconoce de tres principios de diseño (*estandarización*, *simplicidad* y *uso de elementos unitarios*), los cuales se miden en los diseños a través de indicadores cuantitativos. La base del sistema es un indicador cuantitativo de la facilidad de construcción, denominado “*Índice de ahorro de trabajo*” (*LSI, Labour Saving Index*), específico para cada tipo de sistema constructivo, que se elabora y actualiza anualmente a base de estudios estadísticos entre expertos del ramo. Para calcular el valor final de constructividad de un proyecto, se pondera la cantidad de superficie de cada sistema constructivo por este índice. Otros puntos del valor final se contemplan por el cumplimiento de criterios de diseño específicos predefinidos (por ejemplo, la repetición de grillas de modulación, el uso de elementos prefabricados o estandarización de elementos).

Low (2001; Low *et al.*, 2008a; 2008b) trabaja sobre los principios del BDAS propuesto por el BCA, y desarrolla un sistema hermano denominado BAM (*Buildable Assessment Model*), cuya característica principal es que responde a las características específicas de la industria de Hong Kong.

Un poco más lejos de los problemas de diseño, Russell (Radtke y Russell, 1993; Russell *et al.*, 1994; Gugel y Russell, 1994) propone 8 “pautas” generales para implementar programas de mejoramiento de constructividad [constructabilidad] a nivel administrativo y que afectan todas las etapas de proyecto, destacando el rol de los administradores y del propio mandante.

En una manera indirecta, Glavinich (1995), —ya que no es su propósito principal— analiza los factores técnicos productivos que permiten mejorar el grado de constructividad de los diseños durante las etapas iniciales, en particular, la consideración de materiales, herramientas, equipos, sistemas constructivos, y tecnologías de construcción en general. Sugiere eliminar de los diseños todos aquellos aspectos que implican el uso de tecnologías obsoletas, exóticas, desconocidas o sobre las cuales no exista experiencia clara.

Del Río (2005) analiza las dificultades de integración del diseño y construcción en la industria local. Señala como problemas característicos a los “*diseños incompletos, no coordinados, con información insuficiente, con detalles inconstruibles, con poca especificación técnica, y con soluciones y detalles que no se han realizado nunca*”. Sindica como causantes de lo anterior a “*las restricciones de costo y de tiempo para el desarrollo de los proyectos, insuficiente conocimiento de construcción por parte de arquitectos, modalidades contractuales que no incentivan la integración y el poco trabajo en equipo*”.

En resumen, los principales aspectos y conceptos —subyacentes a las diferencias de formato— que los autores han relacionado explícita o implícitamente con el grado de constructividad de los proyectos son los siguientes (cuadro 11):

- (1) *Flexibilidad*: Se refiere a la consideración del grado de libertad y flexibilidad que el constructor tenga para adoptar diferentes métodos de construcción para lograr un mismo resultado, o para elegir diferentes detalles u opciones de diseño entre una gama previamente provista por el diseñador según el que sea más eficiente para el proceso constructivo.
- (2) *Simplicidad*: Se refiere a la consideración de diseños más sencillos, con geometrías claras, con sistemas de instalación y montaje simples.
- (3) *Prefabricación*: Se refiere a la consideración de la cantidad de faenas que se puedan realizar fuera del sitio de construcción, en entornos controlados.
- (4) *Pre-montaje*: Se refiere a la consideración del número de componentes y sub-componentes del proyecto que pueden ser pre-montados fuera de obra, o que requieran un proceso de montaje más simple.

- (5) Estandarización: Se refiere a la consideración de tamaños y formatos normalizados de componentes, sub-componentes y elementos, al uso de productos del mercado y al grado de piezas o partes especiales que deban fabricarse o construirse, como también al grado de repetición que estos tienen en el proyecto.
- (6) Modularización: Se refiere a la consideración de sistemas de unificación de tamaños y proporciones de los elementos que deban construirse en el proyecto, así como la repetición de medidas, materiales, procesos y unidades de tareas de construcción.
- (7) Mano de obra: Se refiere a la consideración de las características propia de la mano de obra necesaria para el proyecto, incluyendo su disponibilidad local en el lugar de construcción, grado de capacitación, especialización, experiencia con las faenas necesarias en la obra, condiciones sociales, etc.
- (8) Procedimientos constructivos: Se refiere a la consideración de las características, necesidades y requerimientos propios de los procesos constructivos especificados.
- (9) Secuencias constructivas: Se refiere a la consideración del orden lógico de las faenas constructivas, la posible interferencia que exista entre ellas o las ineficiencias que puedan tener al obligar a repetir procesos o volver atrás.
- (10) Herramientas: Se refiere a la consideración de las características específicas de las herramientas que deban ser utilizadas en las faenas en terreno, tales como límites técnicos de trabajo, nivel de disponibilidad, exigencia de capacitación para su uso, etc.
- (11) Materiales: Se refiere a la consideración de los componentes y elementos primarios que deban ser utilizados para la construcción del proyecto, tales como disponibilidad local, nivel de cuidado necesario durante su almacenamiento, manejabilidad, transportabilidad, toxicidad, exigencia de maquinaria y/o herramientas especiales, etc.
- (12) Clima: Se refiere a la consideración de las características climáticas y ambientales propias del sitio de construcción y a la dificultad que estas puedan representar para realizar tareas en exteriores.
- (13) Terreno: Se refiere a la consideración de las características propias del terreno de obra, incluyendo sus antecedentes topográficos, geológicos, elementos preexistentes, etc. y a las dificultades que estas puedan representar para un desarrollo eficiente en obra.
- (14) Infraestructura exterior, servicios: Se refiere a la consideración de la disponibilidad de infraestructura urbana o servicios externos que la obra necesite para su correcto desarrollo.
- (15) Accesibilidad al sitio: Se refiere a la consideración del grado de facilidad que existe en el acceso hacia el sitio del terreno para el transporte de recursos productivos, incluyendo la mano de obra, materiales, maquinarias, etc,
- (16) Espacio interior e instalación de faenas: Se refiere a la consideración de la cantidad de espacio disponible al interior del terreno para el correcto desarrollo de las operaciones planeadas, y al diseño de instalación de faenas y las posibles interferencias que este pueda causar con las faenas constructivas.

- (17) Tiempo: Se refiere a la consideración del tiempo disponible para la construcción y a las exigencias que este puede representar para un correcto desarrollo de las faenas en terreno.
- (18) Información, comunicación: Se refiere a la consideración del grado de claridad y fluidez que existe entre los arquitectos y el equipo en obra para transmitir la información correcta y precisa del proyecto que debe construirse.
- (19) Coordinación de proyecto: Se refiere a la consideración del nivel de comunicación necesaria entre todos los participantes involucrados en el proyecto (diseñadores, especialistas, proveedores) para lograr una correcta coordinación del proyecto.
- (20) Sistema contractual: Se refiere a la consideración del sistema de contractual que organiza la obra y a los participantes y al nivel de conflicto que este puede generar o entorpecer en las relaciones profesionales.
- (21) Tolerancias: Se refiere a la consideración de especificación de tolerancias de diseño que sean razonables para los recursos productivos disponibles.
- (22) Seguridad en Obra: Se refiere a la consideración del nivel de riesgo o inseguridad que se tiene al realizar las faenas necesarias para la construcción del proyecto.

Cuadro 11: Principales conceptos relacionados con el grado de constructividad según la literatura

	Proponen directamente estructuras de formalización											Se refieren indirectamente								
	CIRIA, 1983	Cl, 1987	Adams, 1990	CIA, 1993	Ferguson, 1987	Lam et al, 2006a Lam et al, 2007	Low, 2001	Low et al., 2008a	Low et al., 2008b	Nima et al., 2001a	Nima et al., 2001b	O'Connor et al., 1987	O'Connor y Davis, 1988	Wong et al, 2006b	Arditi et al, 2002	BCA, 2005	Del Río, 2005	Fischer y Tatum, 1997 Tatum, 1987	Glavinich, 1995	Hanlon y Sanvido, 1995
Flexibilidad		■				■			□	■	■						□			
Simplificación		■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	□		
Prefabricación			□			■								■	■	□				
Pre-montaje	□	■			■	□	□	□	■	■	■	■	■	□			□			
Estandarización	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■			
Modularización		■	■			□			■	■	■	■	■	■			□			
Mano de Obra		□	■	■	■	■	□	□			□	□	■	■			□	■	■	■
Proced. Constructivos	■	□	■	□		□			■	□	□	□	□				□	■	□	
Secuencia de construcción	■	□	■		■	■	■	■	□	□	□	■	■	■					■	
Equipos y maquinarias			□	□	■	■	□	□	■	■	■	■	■	■	□			□	■	■
Materiales	■	■	■		■	■	□	□	□	■	■	■	■	■	□	□	■	■	■	■
Clima	□	■	□			■					■	■	■	■						□
Terreno	■		□		□				■				■	■					□	□
Infraestr. exterior, servicios						□								□						□
Accesibilidad al sitio		■	■		■	□	□	□	■	■	■	■	■	■					■	
Espacio interior e ins faenas	□	□	■			□	□	□	□	□	□	□	□	■				■	□	■
Tiempo		■		■				■	■	■	■	■	□						□	■
Información, comunicación		□	■		■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	■			□	■
Coordinación de proyecto		□	■	□		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	□	□	■
Sistema contractual									■					■	■	■		■		
Tolerancias	■		□		■	■	■	■						■		□	■	■	■	■
Seguridad en obra			■			■	□							■						■

■ lo menciona en forma explícita □ lo menciona en forma implícita

# 5. El concepto de dificultad de construcción y su relación con el diseño

---

## § 5.1. El concepto de dificultad de construcción

---

### § 5.1.1. Necesidad de un modelo de dificultad de construcción

La constructividad se define como el *grado en el cual un determinado diseño permite una mayor facilidad y eficiencia de construcción, sujeto a todos los requerimientos del cliente y del proyecto* (vid. § 1.2.1.). Esta definición encierra una pregunta sin una respuesta totalmente concluyente. ¿Qué se entiende por “facilidad de construcción”? ¿qué hace que un proyecto sea más o menos fácil de construir?

Hasta cierto punto, la dificultad de una obra de construcción es un concepto “*intuitivo*” o incluso “*obvio*” (Glavinich, 1995; Lam *et al.*, 2006, respectivamente) que no parece necesitar de una definición explícita o exacta. Construir edificios con geometrías complejas, sistemas constructivos desconocidos, materiales frágiles, mano de obra incapacitada, recursos tecnológicos insuficientes o en un sitio con un clima agreste son, por supuesto, situaciones que todos reconocen como procesos de construcción difíciles. Sin embargo, este nivel de concepción intuitivo, aunque parcialmente útil en el ambiente profesional —incluso en el contexto profesional del diseño arquitectónico—, no es suficiente para el desarrollo de un sistema de organización sistemático y objetivo del conocimiento de constructividad. La falta de una definición explícita de “dificultad de construcción” impide analizar la complejidad de los factores que la determinan y por lo tanto, imposibilita cualquier intento de identificación, individualización, manipulación, evaluación, medición, y en general, de gestión para su mejoramiento.

Ante esta situación, se propone aquí una definición razonada denominada *Modelo Analítico de Dificultad de Construcción (MADC)*. En realidad, el MADC no sólo define la dificultad de construcción, sino que la descompone en sus elementos constituyentes más elementales, de manera de permitir identificar con absoluta claridad cuál es la influencia que tiene el diseño arquitectónico en el nivel de dificultad de construcción de un proyecto de dificultad. En otras palabras, el MADC es una construcción conceptual que sienta las bases teóricas para elaborar justificadamente una estructura de conocimiento de constructividad.

### § 5.1.2. Modelo Analítico de Dificultad de Construcción (MADC)

El MADC se crea con tres objetivos principales: (1) definir explícitamente qué se entiende por “dificultad de construcción”; (2) establecer los factores de los que depende y (3) detectar aquellos factores que pueden ser afectados desde el diseño (figura 18). Es una construcción conceptual que permite tomar el concepto genérico de dificultad de construcción y descomponerlo sucesivamente en progresivos niveles de análisis hasta llegar a indicadores observables, independientes y medibles cualitativa o cuantitativamente. De esta manera, se puede definir con precisión que es la dificultad de construcción, de que depende y cómo puede observarse y medirse en un proyecto específico.

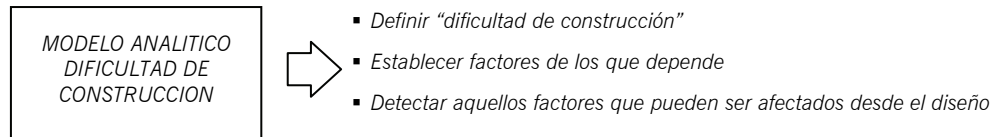


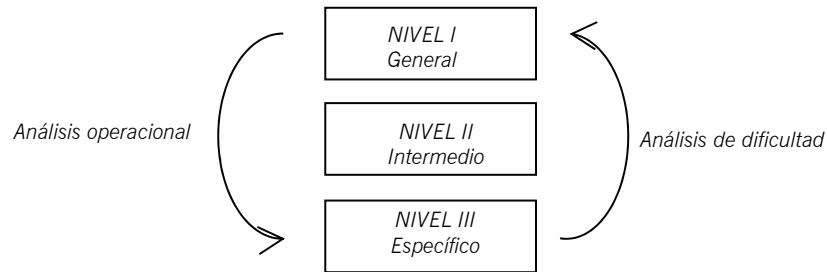
Figura 18:  
Objetivos principales del  
MADC

A grandes rasgos, la estructura del MADC define tres niveles de análisis de dificultad de un proyecto, que van desde lo más general (todos los factores que afectan la dificultad de construcción del proyecto completo), a lo más específico (un aspecto puntual que afecta la dificultad construcción, por ejemplo, fragilidad de los materiales de construcción). En el primer nivel, el más general, el análisis es altamente relevante (pues permite estimar la dificultad total del proyecto), pero a la vez es el más complejo de realizar (pues todas las variables están integradas al mismo tiempo). En el último nivel, el más específico, el análisis es de menor interés (pues es muy puntual), pero a la vez es el más sencillo de realizar (pues contempla una sola variable a la vez).

El MADC organiza estos tres niveles de manera de realizar un análisis de doble recorrido en dos fases: en una primera fase, denominada *análisis operacional*, se examina el proyecto y se descompone sucesivamente hasta identificar cada una de las operaciones en obra necesarias de realizar, sus elementos, componentes, y características básicas. En la segunda fase, denominada *análisis de*

*dificultad*, se revisa cada uno de los componentes previamente identificados y se les analiza su nivel de dificultad independiente, una variable a la vez. Posteriormente se integran todos los análisis independientes de manera de volver al nivel general y así obtener una estimación del nivel de dificultad total del proyecto. En ambas fases, el nivel intermedio de análisis sirve como nivel de transición que facilita el proceso (figura 19).

Figura 19:  
Mecanismo básico de  
análisis del MADC

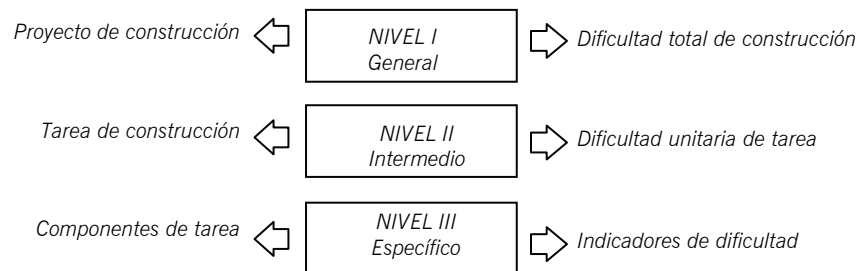


En la fase de análisis operacional, los tres niveles son (1) nivel de *proyecto de construcción*, (2) nivel de *tarea de construcción* y (3) nivel de *componente de tarea*. El *proyecto de construcción* representa el total; el cual está compuesto por la integración de un número variable de *tareas de construcción*. Cada *tarea de construcción* está definida por un grupo limitado de *componentes de tarea*, los cuales son esenciales a toda tarea y representan el nivel mínimo elemental de análisis.

En la fase de análisis de dificultad, los tres niveles son: (1) nivel *dificultad total de construcción*, (2) nivel *dificultad unitaria de tarea* y (3) nivel *indicadores de dificultad*. La *dificultad total de construcción* se descompone en una sumatoria de *dificultades unitarias*, las que a su vez se descomponen en una serie de *indicadores de dificultad*. En este último nivel, mínimo elemental de análisis, los indicadores tienen la propiedad de ser observables, independientes y medibles.

Los tres niveles de análisis y sus respectivas etapas en las fases de análisis operacional y análisis de dificultad están graficados en la figura 20.

Figura 20:  
Niveles de análisis  
operacional (izquierda)  
y análisis de dificultad  
(derecha).



### a. Primera fase: análisis operacional del proyecto

En primer lugar, es importante aclarar el concepto “operacional”. En términos generales, se pueden distinguir dos ámbitos de gestión en un proyecto de construcción: el (1) *ámbito organizacional*, relacionado fundamentalmente con las acciones y mecanismos administrativos necesarios para dar cumplimiento al proyecto, (tales como la estructura legal del proyecto, sistemas contractuales, financiamiento del proyecto, etc.) y el (2) *ámbito operacional*, relacionado fundamentalmente con las tecnologías de construcción involucradas y las actividades que deben realizarse en terreno para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto (Halpin y Woodhead, 1976). El MADC opera exclusivamente sobre el ámbito operacional.

En términos estrictamente operacionales, un *proyecto de construcción (P)* se define como una empresa altamente compleja que involucra una serie extensa pero limitada de procesos y actividades coordinadas, que se desarrollan en forma paralela o secuencial, cada uno con sus propias tecnologías, participantes y recursos productivos necesarios, con el fin último y principal de realizar materialmente un edificio concreto. Cada uno de estos procesos constituyentes se denomina *tarea de construcción (tc)*.

$$P = \{tc_1, tc_2, tc_3, \dots, tc_n\}$$

La *tarea de construcción (tc)* es la unidad básica de análisis de operaciones en un proyecto de construcción. Se define como un proceso físico, que ocurre dentro del sitio de obra o fuera de él, con un grupo definido de participantes y recursos, cuyo objetivo específico es parcial y subsidiario del objetivo de proyecto. Por ejemplo, son tareas de construcción: comprar áridos y transportarlos al sitio de construcción; disponer instalaciones de faena, incluyendo el espacio para almacenamiento de materiales; seleccionar, organizar y capacitar a nueva mano de obra; realizar mantención a las maquinarias y equipos eléctricos; preparar y montar enfierraduras de acero; confeccionar moldajes y andamios de madera; pintar y barnizar superficies de terminación; etc...

Cada tarea (*tc*) está definida y determinada por *6 componentes básicos de tarea*:

- (1) Las *acciones (a)*, entendidas como los procesos propiamente tales. Pueden ser acciones directas o principales (aquellas que definen la tarea, tales como verter el hormigón, doblar enfierraduras, montar tabiques, etc); o acciones indirectas o auxiliares (aquellas que son necesarias para el desarrollo de acciones directas y que no pertenecen a la obra construida, tales como limpiar, montar andamiajes, proteger pavimentos, etc);
- (2) Los *sujetos (s)*, entendidos como todos aquellos individuos que intervienen directamente en el desarrollo de la tarea (jornales, capataces, profesionales, proveedores externos, equipo directivo, etc.);

- (3) Las *herramientas* ( $h$ ), entendidas como todas las herramientas, equipos y maquinarias necesarias para la realización de la tarea;
- (4) Los *materiales* ( $m$ ), entendido como todas aquellas materias primas sobre las cuales se realizan las acciones (principales y auxiliares) para cumplir con los objetivos de la tarea;
- (5) El *contexto* ( $c$ ), entendido como el espacio físico en el cual se desarrolla la tarea (condiciones de accesibilidad, iluminación, climáticas, etc);
- (6) Las *restricciones* ( $r$ ), entendidas como todas aquellas limitaciones al libre desarrollo de la actividad que definen condiciones de cumplimiento de la tarea (tiempo disponible, tolerancias, estándar de calidad, etc).

En este contexto analítico, una tarea de construcción se define como el conjunto de (1) acciones que realizan ciertos (2) sujetos, con ciertas (3) herramientas, con ciertos (4) materiales, en cierto (5) contexto y bajo ciertas (6) restricciones, con el objetivo de ser un aporte parcial y subsidiario al objetivo final del proyecto de construcción.

$$tc = \left\{ \begin{array}{l} a_1, a_2, \dots, a_n \\ s_1, s_2, \dots, s_n \\ h_1, h_2, \dots, h_n \\ m_1, m_2, \dots, m_n \\ c_1, c_2, \dots, c_n \\ r_1, r_2, \dots, r_n \end{array} \right.$$

Cuadro 12:  
Ejemplo de tarea de  
construcción ( $tc$ )

Ejemplo de tarea de construcción: Hormigonado pilares para confinamiento de muro albañilería reforzada

- o Acciones: Preparación mezcla, colocación hormigón, vibrado de hormigón, etc.
- o Sujetos: Capataz concreto, maestro concreto, jornales, etc.
- o Herramientas: Pala, betonera, carretilla, sonda vibradora, andamios, etc.
- o Materiales: Áridos, cemento, aditivos, etc.
- o Contexto: Condiciones climáticas adecuadas para la fragua y curado, espacio y accesibilidad suficiente, buena iluminación y ventilación, etc.
- o Restricciones: Tolerancia lineal máx 1/400cms, 1/2 día de trabajo, etc.

## b. Segunda fase: análisis de dificultad de construcción

El análisis de dificultad se realiza siguiendo la misma estructura de niveles de análisis operacional descrita anteriormente, pero en sentido inverso. El nivel de proyecto de construcción tiene asociado el nivel de *dificultad total de construcción (D)*. El nivel de tarea de construcción tiene asociado el *nivel de dificultad unitaria (du)* y el nivel de componente de tarea tiene asociado el nivel de *indicadores de dificultad (id)*.

La *dificultad total de construcción (D)* se define como la integración sumatoria de todas las dificultades unitarias de todas las distintas tareas de construcción de un proyecto de construcción. Es un indicador de naturaleza sistémica, integral y universal que representa el valor último, necesario y suficiente para determinar el grado de facilidad o dificultad de construcción de un proyecto; e indirectamente, el grado de constructividad. Depende del total de *dificultades unitarias (du)* de cada tarea, definidas como el grado de dificultad de realización de una tarea de construcción específica de un proyecto y momento dado. La dificultad unitaria representa un indicador semi-general que describe la complejidad de una tarea en específica, tal como hormigonar un pilar con una enfierradura densa, o levantar un muro curvo en albañilería armada. Es, típicamente, el nivel en que profesionales —basándose en su experiencia, intuición y conocimiento tácito— pueden pensar y analizar en forma inmediata.

$$D = \{du_1, du_2, du_3, \dots, du_n\}$$

La estimación de la dificultad unitaria de una tarea se obtiene a partir de la integración los *indicadores de dificultad (id)*, en el nivel inferior de análisis, definidos como aquellas medidas cuantitativas o cualitativas, observables e independientes, que describen la complejidad específica de una variable particular relevante de alguno de los 6 componentes básicos de una tarea de construcción. Constituyen el nivel elemental e irreductible de análisis de dificultad.

Por ejemplo, para el componente materiales (m), un indicadores de dificultad es la “disponibilidad” de los materiales requeridos en el contexto del proyecto. Si una tarea de construcción requiere materiales que no están disponibles en el lugar de construcción, que requieren traslado desde otros lugares o que dependen de proveedores poco confiables, entre otras condiciones, la dificultad unitaria es mayor. Es importante recalcar que el análisis debe siempre realizarse *ceteris paribus*, es decir, con todas las demás condiciones constantes. Así, es posible argumentar que un material específico puede efectivamente tener menor disponibilidad en el contexto de la obra, pero ser de mayor rendimiento en obra y fácil instalación en terreno, y por eso, a la larga, impactar positivamente disminuyendo la dificultad unitaria de la tarea. Por eso para efectos de mantener la objetividad y sistematicidad del análisis, cada indicador debe examinarse por separado, suponiendo todo lo demás constante, y posteriormente deben integrarse y ponderarse entre ellos.

En el cuadro 13 se ejemplifican algunos indicadores de dificultad clasificados por componente. En ningún caso este cuadro es concluyente. Por definición los indicadores son ilimitados, existiendo tantos como (descriptores de las) condiciones de trabajo puedan definirse. Sin embargo, no todos los indicadores son igualmente importantes en todos los casos; su relevancia depende de las condiciones de cada tarea (o proyecto). De hecho, sólo un pequeño grupo resulta significativo para cada tarea, la inmensa mayoría de indicadores se mantiene o comporta neutral, sin un impacto gravitante en la dificultad de construcción. Por ejemplo, la “disponibilidad” de las herramientas es un indicador de dificultad, normalmente irrelevante, excepto en casos donde (1) se requieren herramientas muy específicas y por tanto escasas, o (2) es un diseño de montaje sin herramientas (e.g. de ajuste por presión). En el primer caso el indicador tendrá valor negativo (mayor dificultad unitaria), en el segundo caso tendrá valor positivo (menor dificultad unitaria), y en todos los demás (la inmensa mayoría) tendrá valor nulo.

Esto implica que, en la práctica, un acotado grupo de indicadores permite describir la dificultad de una tarea. No obstante, en teoría, todos los indicadores existen siempre, incluyendo la inmensa mayoría de valor nulo. Es precisamente esta condición la que permite establecer la equivalencia entre distintos análisis de dificultad de tareas, y así, dar validez al modelo.

Cuadro 13:  
Ejemplos de principales  
indicadores de dificultad  
unitaria

<i>COMPONENTE</i>	<i>EJEMPLOS DE INDICADORES DE DIFICULTAD</i>
<i>Acciones (a)</i>	<i>Repetición (de una misma acción)</i> <i>Posibilidad de control</i> <i>Repetición</i> <i>Cantidad de pasos/etapas</i> <i>Especificidad</i> <i>Seguridad</i>
<i>Sujetos (s)</i>	<i>Cantidad</i> <i>Experiencia y nivel de capacitación</i> <i>Especialización</i> <i>Disponibilidad</i>
<i>Herramientas (h)</i>	<i>Manejabilidad</i> <i>Operabilidad (conocimiento experto necesario)</i> <i>Versatilidad</i> <i>Disponibilidad</i> <i>Autonomía</i> <i>Seguridad</i>

<i>Materiales (m)</i>	<i>Manejabilidad (tamaño, peso, trabajabilidad, etc.) (fragilidad) Disponibilidad Seguridad</i>
<i>Contexto (c)</i>	<i>Clima Accesibilidad interior Accesibilidad exterior Espacio libre Condiciones ergonómicas</i>
<i>Restricciones (r)</i>	<i>Tiempo Tolerancias</i>

## § 5.2. Reducción de la dificultad de construcción desde el diseño

---

62

### § 5.2.1. Aproximaciones a la reducción de dificultad total de construcción

De acuerdo a la metodología de análisis del MADC, la dificultad total de construcción de una obra depende de la integración de todas las dificultades unitarias de todas las tareas de construcción del proyecto, las que están determinadas por una serie de indicadores independientes. Por consiguiente, para poder reducir el nivel de dificultad de una obra de construcción, se debe actuar sobre las tareas de construcción y, más específicamente, sobre los indicadores de dificultad.

Por ejemplo, supóngase un pequeño proyecto de construcción consistente en la instalación de cielo falso colgante en una habitación existente a fin de habilitarse como oficina. Dependiendo de las condiciones previas del recinto y del propio diseño del proyecto, diversas tareas de construcción están involucradas: retiro de cielo falso anterior, instalación de rastreles y estructura de soporte, tendido eléctrico para iluminación, instalación de ductos de aire acondicionado u otras instalaciones, colocación de paneles, instalación de luminarias, etc. Para evaluar la dificultad de construcción de este proyecto, o más aún, para poder reducirla, es necesario analizar la dificultad unitaria de cada una de estas tareas de construcción. Por ejemplo, la instalación de los paneles en la estructura de soporte. Según el MADC, los 6 componentes de la tarea que definen su dificultad deben analizarse: acciones, sujetos, herramientas, materiales, contexto, restricciones. El primer componente es acciones. Su ponderación está dada, entre otros aspectos, por la cantidad y complejidad de acciones que sean necesarias: un diseño que solo exija deslizar el panel hasta que el anclaje enganche en la estructura tiene menor dificultad que otro diseño que exija centrar el panel, instalar tornillos en las esquinas, nivelar el panel y luego cubrir las uniones con tapajuntas. Otro componente es materiales. Paneles más livianos o de un tamaño que permitan ser manipulados por un solo obrero son ejemplos de diseños que afectan positivamente el nivel de dificultad unitaria de la tarea (y a la larga de dificultad total de construcción). En términos estrictos, es necesario continuar con esta lógica de análisis para cada uno de los indicadores de dificultad, para cada uno de los componentes, para cada una de las tareas. Aún en un pequeño proyecto de construcción como el dado en este ejemplo, es una labor interminable. Así, aunque teóricamente el MADC permite describir con precisión el nivel de dificultad de un proyecto y los elementos de los que depende, en la práctica, para obtener un procedimiento operativo y practicable de reducción de dificultad desde el diseño, es necesario todavía cumplir con dos condiciones adicionales.

La primera condición es realizar un “filtro” sobre todos los tareas, componentes e indicadores de dificultad a fin de reducir esta lista teórica interminable y concentrarse exclusivamente en aquellos que pueden efectivamente ser afectados desde el diseño. La segunda condición consiste en “adelantar trabajo” y definir un conjunto de estrategias fundamentales de reducción de dificultad que

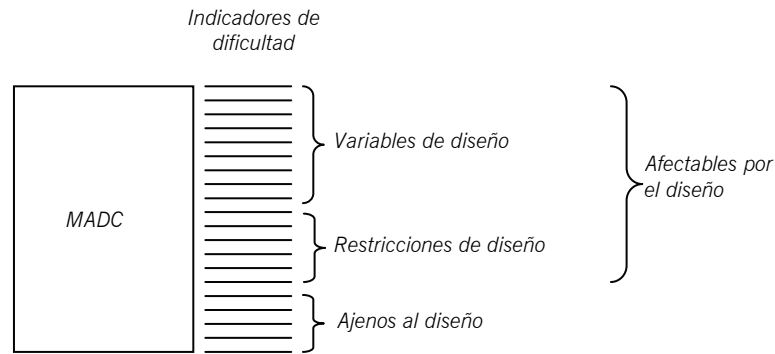
sean válidas siempre, y que a partir de ellas se puedan elaborar mecanismos específicos o particulares para cada proyecto.

Respecto a la primera condición, el MADC establece que la dificultad de una obra depende, en último término, de los indicadores de dificultad. Sin embargo, de todos estos indicadores sólo un grupo menor tiene relación con el diseño, otra gran cantidad pertenecen a la administración de obra, otros a la dirección organizacional, y otros se alejan aún más. Basado en su nivel de relación con el diseño, tres tipos de indicadores de dificultad pueden ser identificados:

- (1) Indicadores que pueden ser efectivamente modificados por el diseño, por lo que se comportan como *variables de diseño*. Por ejemplo, la especificación de un detalle de ventana prefabricada con marco ajustable es una decisión de diseño que impacta positivamente en los índices de dificultad de la tarea de construcción de ese detalle (porque simplifica el proceso de montaje debido a su condición prefabricada) y de la tarea de construcción de conformación del vano (porque permite mayores tolerancias en la conformación del vano debido a su ajustabilidad posterior).
- (2) Indicadores que no pueden ser directamente modificados por el diseño, aunque sí considerados; por lo que se comportan como *restricciones de diseño*. Por ejemplo, condiciones climáticas húmedas o lluviosas en la zona de construcción por lo general tienen un impacto negativo en el índice de dificultad unitaria, y aunque el diseño no puede afectar el clima, sí puede considerarlo y responder a él (e.g. desarrollando un sistema que permita el cerramiento temprano del edificio y desarrollar la mayor cantidad de tareas de construcción en un entorno controlado).
- (3) Indicadores de dificultad de construcción no tienen relación alguna con el diseño y por tanto se comportan como *datos generales o ajenos al diseño*. Aunque importantes para la administración de obra, para la dirección del proyecto o para otros integrantes, desde la perspectiva del diseño no son considerados como relevantes para el mejoramiento de la constructividad. Por ejemplo, problemas de relaciones sociales entre la mano de obra pueden crear un clima incómodo de trabajo y probablemente represente un problema para el administrador de obra, quien tratará de armar cuadrillas entre trabajadores sin problemas, establecerá sanciones o reemplazará trabajadores conflictivos. Desde el punto de vista del diseño, sin embargo, poco y nada se puede hacer.

A fin de crear una organización de conocimiento de constructividad útil para el diseño, es necesario focalizarse exclusivamente en las variables y restricciones de diseño que afectan la dificultad de construcción de proyecto, y dejar en segundo plano los datos generales o indicadores ajenos al diseño. Para los arquitectos resulta poco eficiente intentar mejorar indicadores de dificultad que no pueden ser afectados o considerados por el diseño.

Figura 21  
Indicadores de  
dificultad afectables  
por el diseño



Respecto a la segunda condición, es posible identificar a nivel de tarea de construcción al menos 4 estrategias de reducción de dificultad de construcción que se basan en un razonamiento puramente analítico, y por lo tanto, que son válidas siempre: (1) especificando tareas que tengan menor dificultad unitaria, (2) especificando menos tareas de construcción, (3) aumentando la flexibilidad de elección y (4) aumentando la repetición de tareas.

- (1) Reducción de dificultad de construcción a través del aumento de características de diseño que impliquen tareas de construcción con menor dificultad unitaria. Por ejemplo, la especificación de artefactos sanitarios unitarios (una sola pieza) evita realizar el montaje, conexión y ajuste de cada elemento por separado, lo que reduce notablemente las posibilidades de error o filtraciones. Esta tarea tiene un nivel de dificultad unitaria menor a la tarea de montaje de artefactos sanitarios tradicionales, y en suma, reduce la dificultad total del proyecto.
- (2) Reducción de dificultad de construcción a través del aumento de características de diseño que impliquen menos tareas de construcción (a menor cantidad de tareas, menor cantidad de dificultades unitarias que integrar, menor dificultad total, *ceteris paribus*). Por ejemplo, la utilización de paneles de madera contrachapada en los tabiques de madera aserrada como elemento estructural arriostrante, frente a la solución tradicional basada en el uso de diagonales, representa una característica de diseño que implica una tarea de construcción con una menor dificultad unitaria toda vez que elimina la necesidad de corte y ajuste de diagonales, reducción y encastre de pies derechos y encamisado posterior del tabique para recibimiento de terminación.
- (3) Reducción de dificultad a través de la aumento de la repetición de características de diseño dentro un proyecto, de manera que se reduzca la variabilidad de tareas de construcción. La repetición de una misma tarea contribuye al aprendizaje de la mano de obra, permite hacer un uso más eficiente de las maquinarias y equipos, simplifica el manejo de materiales y productos, crea economías de escala y mejora la utilización de la capacidad instalada. En general, incrementa el conocimiento acumulado, disminuye los errores y aumenta la eficiencia general

en el tiempo. Por ejemplo, un proyecto en altura que utilice el mismo tipo de vano en la misma posición en cada piso implica un mismo diseño de enfierraduras y por tanto una faena de preparación y montaje de enfierraduras idéntico, lo que reduce sustancialmente las probabilidades de error por parte de la mano de obra.

- (4) Reducción de dificultad a través del aumento las características de diseño que tienen varias combinaciones de tareas de construcción posibles para lograr el mismo resultado, aceptando la presunción de conocimiento experto. Cuando una cierta característica de diseño puede ser construida de varias maneras diferentes (con diferentes combinaciones de tareas de construcción), sin alterar el resultado final, se prefiere que sea el constructor quien tome la decisión sobre qué sistema utilizar, pues se asume que una decisión sobre tareas de construcción tomada por el constructor es más eficiente e implicará menos dificultad unitaria que aquella tomada por el diseñador. Así, a mayor cantidad de características de diseño que tengan varias posibilidades de construcción, mayor flexibilidad para que sea el experto quien tome la decisión más eficiente, y por tanto, menor dificultad de construcción total. Por ejemplo, el detalle de encuentro en esquina de dos tabiques de madera fabricado en obra puede realizarse con cornijal sólido o con pies derechos en T o en U, entre otras posibilidades. En general, todas cumplen con los mismos requerimientos finales (en cuanto proporcionen estabilidad estructural y reciban correctamente el revestimiento), por lo que un método para reducir dificultad total de construcción es plantear dos o tres posibilidades y dejar abierto al constructor la posibilidad de elegir el detalle más eficiente en cada caso (por ejemplo, según las secciones de madera disponible).

Estos cuatro métodos fundamentales pueden en forma independiente o combinada constituir la base conceptual para estrategias de diseño más específicas y aplicables. Por ejemplo, la prefabricación de elementos y componentes, ampliamente reconocida como una estrategia de amplio uso para la mejora de la constructividad, se basa en el aumento de características de diseño que reducen las tareas de construcción en obra y las sustituye por la sola faena de montaje (segunda reducción). La estandarización, otra estrategia de amplio uso, se basa en la repetición de características de diseño y sus tareas de construcción asociadas (tercera reducción). Otras estrategias más complejas, como el trabajo colaborativo e integrado entre equipos constructores y diseñadores desde las primeras etapas de diseño, se basa en la presunción del conocimiento experto y en el mecanismo de la toma de decisiones contenida en la cuarta reducción.

# 6. Estructura de Conocimiento de Constructividad (ECC)

---

## § 6.1. Descripción general de la Estructura de Conocimiento de Constructividad (ECC)

---

La Estructura de Conocimiento de Constructividad (ECC) es, como su nombre lo indica, un sistema de organización de conocimiento concebido con el objetivo principal de ordenar en forma sistemática, jerárquica, sintética, accesible y eficiente el conocimiento de constructividad existente y el que está por crearse, desde una perspectiva operativa y útil para el diseño, especialmente, para las fases iniciales de proyecto.

Sus fundamentos derivan directamente del MADC. Como punto de partida, toma el concepto de indicadores de dificultad como elementos básicos de análisis, y respetando la primera condición definida por el modelo, se concentra únicamente en aquellos que pueden ser afectados por el diseño. La ECC “filtra” las variables y restricciones de diseño y los agrupa en 10 categorías generales en la forma de factores. Igualmente, recoge los cuatro mecanismos fundamentales de reducción de dificultad que propone el MADC y los aplica en el contexto de diseño en la forma de principios. Formalmente, sigue la estratificación recomendada para la formalización del conocimiento revisada previamente en § 2.2.2., definiendo cuatro niveles diferenciados en nivel de especificidad, contexto de aplicación, dimensión de conocimiento y orientación de diseño, respondiendo a las diferentes necesidades de información y conocimiento del arquitecto a lo largo del proceso de diseño. La manera de formalizar el conocimiento también sigue los lineamientos definidos en la primera parte de este libro: es transversal a todas las escalas y etapas del proceso de diseño, progresivo en cuanto a grado de detalle, abstracción y prescripción, y dinámico para ajustarse a diferentes contextos de aplicación.

## a. Factores

Los factores derivan directamente de los indicadores de dificultad que se manifiestan como variables o restricciones de proyecto, en la forma de indicador general de lo que debe ser considerado en las decisiones de diseño. Por lo tanto, no es prescriptivo y es aplicable en la amplia mayoría de las situaciones. Los factores de constructividad son especialmente útiles durante las primeras fases de diseño, en las cuales se analiza el problema de estudio y se comienza a detectar aquellos aspectos claves que definen el proyecto. Al igual que lo que normalmente se realiza con otras variables de proyecto (e.g. programáticas, ambientales, legales, urbanas, etc.), la realización de un análisis preliminar de constructividad —basado en los factores de constructividad—, permite detectar posibles dificultades o limitantes importantes eventuales en la etapa de construcción y, por lo tanto, definir restricciones y/o directrices generales para el diseño. La ECC define 10 factores generales, divididos en tres tipos diferenciados según el nivel de relación con las condiciones de trabajo en obra y el grado de afectabilidad por equipo de proyecto: (1) factores internos a obra; (2) factores externos a obra; y (3) factores transversales:

- (1) *Factores internos a obra*: son aquellos que son propios de las condiciones de trabajo en obra y que son directamente afectables y afectables por el equipo de proyecto. Son factores internos:
  - *Mano de obra*, determinado por el conjunto de características técnicas, productivas, económicas y socioculturales del grupo humano (obrero y profesional) necesario para la realización de las tareas de construcción definidas por el proyecto
  - *Procedimientos constructivos*, determinado por la cantidad, variabilidad, complejidad de realización, riesgo asociado e interrelación entre los procedimientos constructivos necesarios para la realización de las tareas de construcción definidas por el proyecto.
  - *Herramientas*, determinado por las características técnicas, tecnológicas y de operabilidad de todas las herramientas, equipos y maquinarias necesarias para la realización de las tareas de construcción definidas por el proyecto.
  - *Materiales*, determinado por las características físicas, mecánicas y tecnológicas de los materiales, productos, insumos y materias primas sobre cuales se ejecutan las acciones necesarias para la realización de las tareas de construcción definidas por el proyecto.
  
- (2) *Factores externos a obra*: aquellos que son propios de las condiciones de trabajo en obra y que no son directamente afectables por el equipo de proyecto (con presunción de encargo). Son factores transversales:
  - *Clima*, determinado por la intensidad y características de las condiciones climáticas, atmosféricas y ambientales de la(s) zona(s) en la(s) que se desarrollarán tareas de construcción definidas por el proyecto.

- *Terreno*, determinado por las características topográficas, geotécnicas y ambientales del terreno del proyecto y su entorno inmediato, y por el grado de incertidumbre que se tenga sobre ellas.
  - *Accesibilidad*, determinado por la cantidad y calidad de espacio libre disponible al interior del terreno y por la capacidad de carga de las vías de acceso a la(s) zona(s) donde se desarrollarán las tareas de construcción definidas por el proyecto.
  - *Tiempo*, determinado por la cantidad de tiempo que se requiera para realizar las tareas de construcción definidas por el proyecto.
- (3) *Factores transversales*: aquellos que son propios de las condiciones de trabajo del equipo de proyecto y no que se relacionan necesariamente con las condiciones de trabajo en obra. Son factores transversales:
- *Comunicación*, determinado por la claridad, cantidad, especificidad y calidad de la información del proyecto diseñado y por la fluidez y calidad de comunicación entre el equipo diseñador y el equipo de construcción.
  - *Coordinación*, determinado por la coherencia, integración, y complemento entre las distintas especialidades que intervienen en el diseño del proyecto y por la fluidez y calidad de comunicación entre todos los integrantes y especialistas que conforman el equipo diseñador y el equipo de construcción.

Los factores de constructividad representan la síntesis última de las variables y restricciones de diseño, concentradas en 10 categorías. Otros conceptos típicamente sindicados como “factores” son en realidad, derivaciones de estos factores generales; integraciones entre varios factores, o incluso errores conceptuales que no presentan influencia alguna. Entre otros, “tolerancias”, “detalles”, “seguridad en obra”, “costo”, o “calidad” han sido señalado como factores de constructividad (*vid. § 4 y ss.*).

Por ejemplo, se señala que la especificación de “tolerancias adecuadas” aumenta la facilidad de construcción. Sin duda alguna. Pero, (1) las tolerancias máximas son un componente del diseño (el diseñador las especifica), y por tanto, no podrían ser al mismo tiempo un factor que las afecte; y (2) la especificación de tolerancias “adecuadas” depende de su grado de correlación con las capacidades reales de los recursos productivos en obra (una tolerancia es adecuada cuando se puede alcanzar razonablemente con la mano de obra, la maquinaria, los materiales y otras condicionantes en el contexto del proyecto). Por ende “tolerancias” no es un factor adicional, sino que depende de los demás factores ya especificados. Un caso similar ocurre con “detalles”, que lejos de ser un factor, no es más que una etapa muy específica de diseño, y como tal, debe respetar los mismos factores de constructividad definidos.

“Seguridad en obra” es más cuestionable. El argumento es que obras con menos riesgos, son obras más fáciles de construir. Pero, ¿de qué depende la seguridad de una obra? y ¿hasta qué punto el diseño puede afectarla? Los factores de riesgo en una obra van desde localizarse en un barrio peligroso, en terrenos difíciles de cercar o con accesos incontrolables, con faenas o procedimientos constructivos inherentemente peligrosos, materiales tóxicos, problemas de supervisión y dirección de obra, hasta tener mano de obra de baja calidad o incapacitada. De hecho, sobre el 85% del total de siniestros en una obra, se debe a “acciones inseguras” por mano de obra, lo que va desde el simple descuido o la falta de elementos de protección personal, hasta el trabajo en condiciones de intemperancia (Solminihaç y Thenoux, 2000). De todas estas posibles causas, al menos la mitad corresponde exclusivamente al dominio de la administración de obra y no tiene relación con el diseño, así que no podría ser factor de constructividad. De la otra mitad, atribuible a “condiciones inseguras”, y que eventualmente podrían ser anticipados y reducidos desde el diseño, son todos clasificables en alguno de los factores listados, y por tanto, tampoco representan un factor adicional.

La calidad del producto es también frecuentemente mencionado como “factor” de constructividad. El argumento es que diseños con estándares de calidad muy altos son difíciles de construir. En primer lugar, existe un problema conceptual. Técnicamente, los estándares que un diseñador define para un objeto son “de desempeño”, y la “calidad” de ese objeto se refiere al grado de cumplimiento de esos estándares en relación a un criterio previamente definido, usualmente, las expectativas del cliente. Así, la calidad de un diseño arquitectónico está dada por el grado de cumplimiento de los criterios de desempeño (del edificio) esperados por el cliente y/o el usuario; la calidad de un proceso constructivo está dada por el grado de cumplimiento de los criterios de desempeño (del objeto construido). Hecha la aclaración conceptual, y asumiendo que en el fondo del asunto se trata de la idea de “estándares de desempeño”, estos no representan un factor de constructividad por las mismas dos razones esgrimidas para el caso de las tolerancias: (1) corresponden a una característica del diseño y por tanto no podrían al mismo tiempo constituir un factor que las afecte; y (2) la especificación de estándares de desempeño “correctos” depende del grado de correlación que tengan con las capacidades reales de los recursos productivos en obra, y por lo tanto, referencian los mismos factores ya definidos.

El costo ha sido también señalado como posible factor de constructividad: cuando los recursos económicos son restringidos, menos disponibilidad de recursos productivos, y por ende, obras más difíciles. Efectivamente, el costo (máximo) del proyecto es un factor de diseño, uno muy importante, pero es un factor transversal a todo el proyecto y no exclusivo de la etapa de construcción. Representa una condición que el diseño debe satisfacer, al igual que el programa arquitectónico, los criterios de desempeño energéticos o la normativa aplicable. En términos de construcción, el costo máximo determina los recursos productivos disponibles, los que sí representan factores de constructividad.

### b. Principios:

Los principios de constructividad derivan directamente de los cuatro mecanismos básicos definidos por el MADC para reducir la dificultad de construcción. En realidad, representan la aplicación concreta y práctica dentro del contexto de diseño de los mecanismos teóricos propuestos por el modelo. Se definen como criterios básicos que orientan las decisiones de diseño, señalando la tendencia generalmente adecuada en la mayoría de las situaciones de diseño. Por lo tanto, son prescriptivos en un nivel general. Los principios de constructividad son útiles en las etapas medias de diseño cuando las principales decisiones ya están parcialmente tomadas y comienzan a definirse los primeros detalles.

La ECC define 4 principios fundamentales: (1) Principio de simplicidad de tareas de construcción, (2) Principio de reducción de tareas de construcción, (3) Principio de reducción de variabilidad de tareas de construcción y (4) Principio de flexibilidad de elección de tareas de construcción.

- (1) *Principio de simplicidad de tareas de construcción*: consiste en la preferencia de características de diseño que impliquen tareas de construcción con menor dificultad unitaria.
- (2) *Principio de reducción de tareas de construcción*: consiste en la preferencia de características de diseño que impliquen menor cantidad de tareas de construcción
- (3) *Principio de reducción de variabilidad de tareas de construcción*: consiste en la repetición de características de diseño que impliquen una misma o muy similar tarea de construcción, y en la homogeneización de características de diseño con mínima variación que impliquen diferentes tareas de construcción.
- (4) *Principio de flexibilidad de elección de tareas de construcción*: consiste en la preferencia de características de diseño que tengan más de una manera de construirse, con un mismo resultado final, y la posterior cesión al constructor de la elección de combinación de tareas de construcción que mejor se adapte a las condiciones de obra. Este principio está basado en la presunción de conocimiento experto.

### c. Pautas

Las pautas derivan indirectamente del MADC, constituyendo aplicaciones prácticas de los principios de constructividad en un contexto específico. Son, por definición, ejecutables, observables y medibles; prescriptivas en forma directa y sólo aplicables a los problemas de diseño que comparten el mismo contexto en el que fue definida. Las pautas no son universales y por tanto no se pueden sistematizar de manera igual que los factores o principios. Por tal razón, no son individualizadas en la ECC, sino sólo caracterizadas. Específicamente, se entregan recomendaciones generales para la definición de pautas de constructividad efectivas.

#### d. Reglas

Las reglas son indicaciones concretas que restringen directa y explícitamente una decisión de diseño, incluso en términos cuantitativos, siendo de naturaleza prescriptiva en el nivel más específico posible. Sólo son aplicables a los problemas de diseño que comparten las mismas características específicas del contexto en que fueron definidas y por lo tanto tampoco son individualizadas dentro de la ECC.

FACTORES	Factores internos	Mano de obra Procedimientos constructivos Herramientas Materiales
	Factores externos	Clima Terreno Accesibilidad Tiempo
	Factores transversales	Comunicación Coordinación
PRINCIPIOS		Principio de simplicidad de tareas Principio de reducción de tareas Principio de flexibilidad de elección de tareas Principio de reducción de variabilidad de tareas

Cuadro 14:  
Factores  
y principios de  
constructividad

## § 6.2. Factores de la constructividad

72

### § 6.2.1. Factores internos a obra

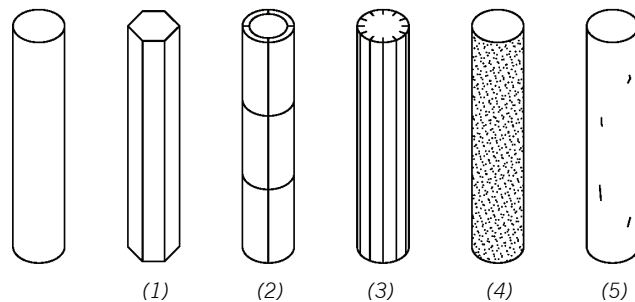
#### a. Mano de obra

El grado de constructividad de un diseño está determinado por las características técnicas, productivas, económicas y socioculturales del grupo humano (obrero y profesional) necesario para la realización de las tareas de construcción definidas por el proyecto. Diseños con mayores niveles de constructividad son aquellos que requieren equipos de trabajo que se corresponden con los disponibles más fácilmente en las condiciones del proyecto.

En relación a la consideración de este factor, el análisis de constructividad se puede realizar en dos ámbitos distintos: (1) *características propias* de la mano de obra requerida; y (2) *disponibilidad* de la mano de obra requerida.

El primer ámbito de consideración de este factor tiene relación con las *características propias* de la mano de obra requerida. A igualdad de condiciones, diseños muy específicos que exijan mano de obra especializada, que sean desconocidos para la mano de obra disponible, que requieran una gran cantidad de trabajadores, que necesiten mayor supervisión técnica, que exijan acciones que pongan al límite las capacidades físicas de los trabajadores, que requieran sesiones de capacitación o instrucción adicional, entre otras características, tienen menor grado de constructividad.

Figura 22:  
Ejemplo de sustitución  
de terminación en pilar  
curvo para eliminar  
estucado manual



Por ejemplo, estucar un pilar curvo es una tarea de construcción que es de alta dificultad y que requiere mano de obra con habilidad técnica superior, la que es cara y escasa. Además, requiere la confección de regletas de madera o metal, lo que involucra tiempo adicional, y por supuesto, mayor costo. Aún así, la terminación no es nunca perfecta y por lo general requiere de retoques y pulidos posteriores. A fin de aumentar el grado de constructividad, el diseño podría, entre otros: (1) cambiar

la curvatura a una geometría faceteada; (2) mantener la curva y especificar otro material de terminación a base de paneles sobrepuestos que permitan ajustar y absorber las diferencias de curvatura; (3) diseñar una serie de canterías regladas perpendiculares a la curvatura que faciliten el trabajo y escondan las imperfecciones; (4) especificar terminación final a base de pintura granulada u otra con textura que permitan disimular diferencias de terminación, (5) plantear hormigón a la vista especificando moldajes curvos industrializados y hormigón con alta docilidad; etc. (figura 22).

Un caso ejemplificador del impacto de la mano de obra en la constructividad de los diseños se da en los proyectos con estructura metálica. La soldadura de uniones es una tarea crítica en obra, pues en su ejecución sin falla se basan todos los cálculos estructurales que asumen continuidad de material. Sin embargo, es una tarea difícil que requiere mano de obra especializada —por lo general certificada— y minuciosa supervisión técnica, lo que aumenta el nivel de dificultad total de construcción. Uniones apernadas, son por lo general, más fáciles de ejecutar y controlar, y por tanto, de mayor grado de constructividad (figura 23).

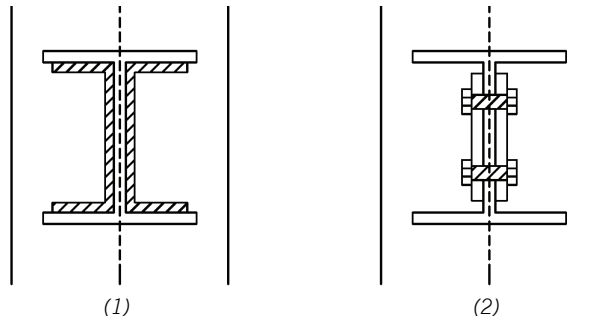


Figura 23:  
Ejemplo de cambio de  
tipo de unión de  
estructura metálica

Otra dimensión de este mismo ámbito de consideración ocurre con las características *sociales* o *culturales* de la mano de obra. Cuando el diseño no considera ni responde a las condiciones y códigos culturales, educacionales o sociales, se crean escenarios de trabajo estresantes y difíciles de administrar. Por ejemplo, existen gigantescas diferencias culturales entre trabajadores de industria (e.g. de prefabricación) y obreros de terreno. Por lo general, los primeros son más prolijos, cuidadosos y con mayor preocupación por la calidad del producto y del proceso; y los segundos más flexibles, enérgicos y dispuestos a trabajar en condiciones difíciles.

El segundo ámbito de consideración de este factor tiene relación con la *disponibilidad* de la mano de obra necesaria en el contexto del proyecto. A igualdad de condiciones, diseños que exijan mano de obra que no es fácil de obtener localmente en el contexto del proyecto, que obligan traslado de personal o que implican mano de obra que —aunque existente— no está fácilmente disponible debido a limitantes económicas o legales, tienen menor grado de constructividad.

Por ejemplo, a fin de aumentar el grado de constructividad de un proyecto que deba ser realizado en una zona extrema del país con mano de obra local sin experiencia en construcción, el diseño podría, entre otros: (1) plantear un sistema constructivo modulado con muy baja variabilidad para que las tareas en obra sean repetitivas y de más rápido aprendizaje, (2) presentar detalles que consideren tolerancias aceptables mayores a los estándares normales, (3) minimizar la cantidad de componentes y elementos en obra, (4) reducir el número de tareas de construcción *in situ* planteando un sistema prefabricando de fácil montaje, etc.

El análisis de disponibilidad local no sólo debe entenderse como una limitante, sino también como un potencial. Por ejemplo, normalmente los trabajadores se desempeñan mejor con aquellos materiales y sistemas que son propios de la zona. Más aún, la experiencia acumulada permite obtener resultados de diseños imposibles en otro lugar con otra mano de obra. El diseño puede sacar partido de esta situación, planteando soluciones que, aunque complejas para un contexto promedio, son de alta constructividad en esa situación en específico. Otro ejemplo es el que ocurre con proyectos en zonas con bajo desarrollo y mano de obra local económica. Aquí, los diseños pueden plantear soluciones que involucren un alto componente de trabajo manual intensivo, con mucho personal desarrollando tareas simples, lo que, por ejemplo, permitiría obtener resultados con características de trabajo de artesanía, absolutamente prohibitivos en otros lugares.

La disponibilidad también se refiere a las *restricciones económicas o legales* del proyecto. Muchas veces la mano de obra necesaria para las tareas de construcción existe y está disponible físicamente en la zona, pero existen limitantes económicas o legales de contratación que restringen su disponibilidad real para el proyecto. Un diseño que considere este factor puede responder con soluciones que involucren un mayor nivel de mecanización y pre-montaje, reduciendo la cantidad de mano de obra en terreno.

Por último, es importante precisar que la consideración de la mano de obra no solo se refiere a las características del grupo obrero, sino también al equipo profesional en terreno. Aparte de los tradicionales profesionales constructores y administradores de obra, ciertas soluciones de diseño implican la participación de profesionales y técnicos especiales. Por ejemplo, proyectos con geometrías complejas y/o muy sensibles a las tolerancias requieren de topógrafos en forma constante en terreno que revisen constantemente niveles y ejes con equipos digitales o geo-referenciados. En otras ocasiones, las soluciones de diseño más complejas requieren de equipos profesionales con mayor preparación y experiencia, pues el riesgo de error es alto. En todas estas situaciones la incorporación de recursos humanos altamente capacitados representa un factor de complejidad adicional a las tareas en obra y podría ser evitado con diseños más ajustados a las capacidades típicas de los grupos humanos disponibles en el contexto del proyecto.

## b. Procedimientos constructivos

El grado de constructividad de un diseño está determinado por la cantidad, variabilidad, complejidad de realización, riesgo asociado e interrelación entre los diferentes procedimientos constructivos necesarios para la realización de las tareas de construcción definidas por el proyecto. Diseños con mayores grados de constructividad son aquellos que requieren procedimientos constructivos que pueden ser llevados a cabo más fácilmente en las condiciones del proyecto.

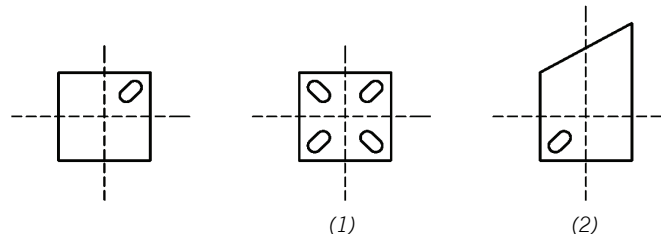
En relación a la consideración de este factor, el análisis de constructividad se puede realizar en dos ámbitos distintos: (1) *características propias* de los procedimientos constructivos requeridos y (2) *orden secuencial e interrelación* de los diferentes procedimientos constructivos requeridos.

El primer ámbito de consideración de este factor tiene relación con las *características propias* de los procedimientos constructivos requeridos. A igualdad de condiciones, diseños que impliquen procesos con mayores probabilidades de error, que exijan procedimientos desconocidos para el equipo constructor, que requieran muchos pasos o etapas, que requieran de muchas tareas con acciones secundarias o auxiliares (*vid. § 5.1.1.a*), que varíen durante el transcurso de la obra, que requieran mayores esfuerzos de coordinación y programación en obra, que requieran ensayos o pruebas, que necesiten habilidades específicas por parte de los trabajadores, o que sean faenas riesgosas con mayores necesidades de medidas de seguridad, entre otras características, tienen menor grado de constructividad.

Por ejemplo, el uso de sistemas de ductería flexible a base de polietileno reticulado (PEX) elimina la necesidad de uniones, racores y *fittings* característicos de las uniones de cobre para lograr las curvaturas de tendido, y reemplaza las conexiones terminales por uniones a presión, rosca y encaje. Dada su flexibilidad, también permite tender las redes con mayor libertad entre elementos estructurales (sin necesidad de cortes) y debido a su condición de material inerte, las uniones no corren riesgo de sufrir corrosión electrolítica. Es notablemente más ligero y fácil de transportar y almacenar. En otras palabras, este sistema de ductería demanda un procedimiento constructivo que tiene menor cantidad y complejidad de tareas de construcción, y por lo tanto, mayor constructividad.

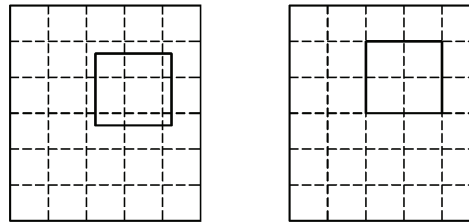
Una estrategia frecuente para enfrentar problemas de constructividad por procedimientos constructivos es definir un cierto grado de prefabricación, lo que reduce la cantidad de tareas en obra, aunque agrega consideraciones de constructividad por procedimiento constructivo dentro de la industria, por transporte de elementos y por ulterior procedimiento de montaje en obra. Por ejemplo, un diseño prefabricado, a fin de reducir probabilidades de error durante el montaje, podría, o bien (1) plantear componentes simétricos cuya orientación sea irrelevante en el montaje; o por el contrario, (2) plantear componentes cuyos diseños sólo permitan la instalación en una sola posición, descartando el montaje incorrecto (figura 24).

Figura 24:  
Ejemplo de cambio de  
diseño de componente  
para facilitar montaje



Otra dimensión de análisis de constructividad por procedimiento constructivo está en la *cantidad de acciones secundarias o auxiliares* requeridas para cumplir la tarea (son secundarias aquellas tareas necesarias para el desarrollo de las acciones directas y que no pertenecen al producto final, tales como limpiar, montar andamiajes, proteger pavimentos, etc., *vid.* § 5.2.1.a.). Por ejemplo, faenas de construcción de muros de albañilería o instalación de paneles de revestimiento pueden ser notablemente reducidas en su dificultad unitaria con estudios de modularización de diseño. Esto no sólo reduce las tareas de corte y ajuste de módulos (ladrillos, planchas, cerámicas, etc.) y sus acciones secundarias (crear plantillas, limpiar residuos, etc.), sino que también asegura mejor calidad de terminación y menor pérdida de material.

Figura 25:  
Ejemplo de  
modularización del  
diseño



El segundo ámbito de consideración de este factor se refiere a la atención del *orden secuencial* de las distintas tareas de construcción. A igualdad de condiciones, soluciones que demanden procedimientos que impidan el desarrollo de trabajos en paralelo, que generen daño en partidas por trabajos subsecuentes, o que obliguen a que las faenas más complejas o que demandan mayor precisión sean desarrolladas en ambientes poco controlados, tienen menor grado de constructividad. Aunque por lo general esto es parte de la programación de obra, y por tanto, de las tareas de la planificación de construcción, a veces un cierto orden está forzado por el diseño. Por ejemplo, una celosía metálica que tenga puntos de anclaje embutidos en pilares de hormigón arquitectónico obliga a realizar tareas con precisión de terminación en la etapa de obra gruesa (dejar los anclajes embebidos en el hormigón fresco). A fin de aumentar el grado de constructividad, una solución prácticamente similar podría plantear, entre otros: (1) una pletina de conexión embebida en el hormigón a la que posteriormente se suelde la estructura de celosía (lo que da un rango de ajuste), (2) una diferente subestructura metálica sobrepuesta al pilar de hormigón, (3) la utilización de martillos de disparo para la realizar la conexión posterior, etc. (figura 26).

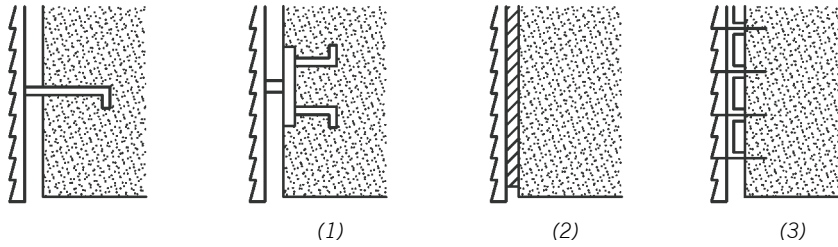


Figura 26:  
Ejemplo de cambio de tipo  
de soporte de celosía  
exterior

Frecuentemente este tipo de dificultades de orden de procedimiento constructivo se esconden en detalles “aparentemente” menores. Por ejemplo, en un piso de madera con guardapolvo encastrado a tope y continuidad de plomo con un muro con terminación de yeso obliga a enyesar primero, dejando el espacio exacto durante el enyesado para luego encajar el guardapolvo; o bien instalar los guardapolvos primero, protegerlos y luego enyesar y pintar; ambos procedimientos difíciles de ejecutar en obra y que posiblemente terminen en resultados insatisfactorios. A fin de aumentar el grado de constructividad, el diseño podría, entre otros: (1) plantear un guardapolvo sobrepuesto, (2) mantener el guardapolvo a plomo pero usar una moldura más pequeña y ocultar la separación de ajuste con un rodón, (3) plantear un guardapolvo a plomo pero con cantería superior, (4) cambiar la terminación del muro, etc.

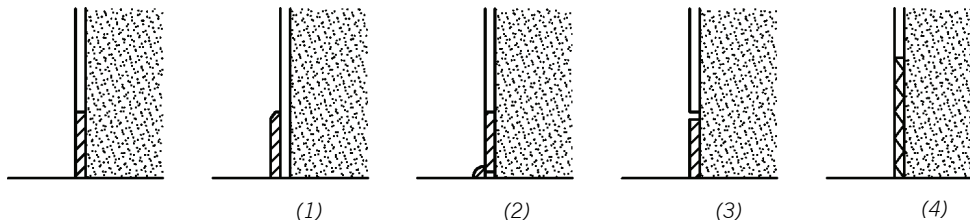


Figura 27:  
Ejemplo de cambio de  
detalle de guardapolvo

### c. Herramientas

El grado de constructividad de un diseño está determinado por las características técnicas, tecnológicas y de operabilidad de todas las herramientas, equipos y maquinarias necesarias para la realización de las tareas de construcción definidas por el proyecto. Diseños con mayores grados de constructividad son aquellos que requieren herramientas, equipos y maquinarias que se corresponden con los disponibles más fácilmente en las condiciones del proyecto y que permiten ser utilizadas de un modo eficiente y óptimo en obra.

En relación a la consideración de este factor, el análisis de constructividad se puede realizar en dos ámbitos distintos: (1) *requisitos* de las herramientas en cuanto *obligaciones* de diseño; y (2) *capacidades* de las herramientas en cuanto *eficiencias* de diseño.

El primer ámbito se refiere a los *requisitos* de las herramientas, equipos y maquinarias (HEM). A igualdad de condiciones, diseños que no consideren las necesidades directas o indirectas de las HEM y que generen limitaciones de uso, complicaciones por falta de energía o suministros, mayor cantidad de tareas auxiliares, modificación de secuencias constructivas, o en general, que especifiquen tareas de construcción que requieren herramientas, equipos y maquinarias que no pueden ser utilizadas con facilidad en el contexto del proyecto tienen menor grado de constructividad.

Por ejemplo, las grúas torre o de pluma son extensamente utilizadas en la construcción de edificaciones en altura que requieren transporte vertical de materiales pesados. Dos situaciones difíciles en obra con estos equipos son la instalación (montaje) y estabilización (anclaje). Primero, la instalación se realiza con grúas accesorias usualmente desde la vía pública; lo que es relativamente fácil para el montaje cuando el terreno está vacío, pero particularmente difícil en el desmontaje cuando el edificio ya está construido. Segundo, las grúas fijas requieren en su base de un lastre de estabilidad para evitar el volcamiento, el cual crece en peso con la altura de la torre, extensión de la pluma y cargas de uso. En escenarios de mayor exigencia, la base de la torre debe ser empotrada en una zapata en el terreno y el mástil debe ser apuntalado a lo largo de su extensión. Ante esta situación, a fin de aumentar el grado de constructividad, el diseño podría, entre otros: (1) calcular la posición óptima de localización de la torre a partir de su radio de giro, procurando que quede de la forma más accesible posible desde el exterior y vía pública (para el monte y desmonte de la estructura), (2) si debe quedar al interior de la construcción y no puede coincidir con un vacío longitudinal (como vacío de ascensor), plantear losas independientes de estructura en ese punto de manera que puedan ser construidas posteriormente; (3) asegurar el acceso a la base de la grúa con maquinaria pesada para la instalación de lastres de estabilidad; (4) cuando sea necesario, permitir la construcción de zapatas de fundación que no entorpezcan con canalizaciones u otras faenas en el terreno y eventualmente, que no requieran ser demolidas, etc.

En la misma línea, las HEM de menor tamaño deben también ser considerados en cuanto a sus requerimientos de uso, en especial lo referido a disponibilidad de insumos y suministros, condiciones de uso y necesidad de energías. Por ejemplo, sistemas a base de aire comprimido, flujo constante de gas o agua a presión, requieren —evidentemente— de estos suministros para funcionar, los que no siempre pueden ser asumidos como disponibles (e.g., en contextos de trabajo en altura o rurales); otros diseños pueden exigir instrumentos y herramientas de precisión (e.g. niveles y sensores geo-referenciados, distanciómetros o niveles láser, clisímetros o clinómetros digitales etc.). que no se encuentran disponibles en todos los contextos de proyecto.

El segundo ámbito de consideración se refiere a las *capacidades de trabajo y uso* de las herramientas, equipos y maquinarias disponibles. A igualdad de condiciones, diseños que obligan a que las herramientas sean utilizadas bajo su umbral óptimo de rendimiento o capacidad, que generan tiempos ociosos de uso, que limitan el potencial máximo de trabajo, o que dificultan su uso en terreno tienen menor grado de constructividad.

Por ejemplo, el nivel de dificultad de realización de pilares curvos en hormigón a la vista puede cambiar significativamente según el grado en el cual el diseño considere las HEM disponibles en el mercado. Con todo lo demás constante, un diseño con alto grado de constructividad por este factor sería aquel que respeta los diámetros de moldajes industriales existentes comercialmente en el contexto del proyecto y que permite que los pilares sean fabricados utilizando encofrados metálicos, resistentes y seguros. Por el contrario, un diseño con menor grado de constructividad sería aquel que, descuidando este factor, especifique un diámetro arbitrario, lo que obliga al equipo constructor a realizar moldajes especiales, probablemente con madera, lo que es una faena adicional y con mayor probabilidad de error e incumplimiento de tolerancias.

Un diseño de bajo grado de constructividad sería aquel que obligue la utilización de cierto tipo de HEM sin tomar en cuenta las condiciones óptimas de uso. Por ejemplo, especificar hormigón de alta docilidad o bombeado en una obra de pequeño tamaño que sólo cuenta con betoneras y trompos mecánicos disminuye su grado de constructividad, pues obliga a faenas de dosificación precisa o contratación de hormigón premezclado y bombas industriales, de alto costo.

Por último, otra dimensión del análisis de disponibilidad corresponde a *factores externos de trabajo*, tales como condiciones ambientales de uso (temperatura, humedad) o espacio necesario. Por ejemplo, en un proyecto de remodelación de un hospital en uso, a fin de evitar los problemas y reclamos que sufriría la administración de obra al usar HEM ruidosas propias del hormigón armado (i.e. martillo neumático, sondas vibradores, etc.), el diseño podría entre otros, (1) especificar hormigones que reduzcan la necesidad de estas herramientas (e.g. hormigón autocompactante), (2) utilizar sistemas de hormigón prefabricado que disminuyan las faenas *in situ* (e.g. sistemas *tilt-up*), (3) utilizar estructuras prefabricadas a base de elementos en acero, etc.

#### d. Materiales

El grado de constructividad de un diseño está determinado por las características físicas, mecánicas, y tecnológicas de los materiales, productos, artefactos, insumos y materias primas sobre los cuales se ejecutan las acciones necesarias para la realización de las tareas de construcción definidas por el proyecto. Diseños con mayores grados de constructividad son aquellos que contemplan materiales que pueden ser obtenidos y manipulados con mayor facilidad en las condiciones del proyecto.

En relación a la consideración de este factor, el análisis de constructividad se puede realizar en dos ámbitos distintos: (1) *características propias* y (2) *disponibilidad* de los materiales requeridos.

El primer ámbito de consideración de este factor tiene relación con las *características propias* de los materiales requeridos. Estas pueden ser características físicas (tales como conductividad térmica, eléctrica, resistencia a la corrosión química, solubilidad, etc.), mecánicas (tales como resistencia a la compresión o tracción, dureza, elasticidad, etc.) o tecnológicas (tales como la capacidad de ser cortado, doblado, pegado, clavado, etc.). A igualdad de condiciones, diseños que especifiquen materiales frágiles o delicados, difíciles de almacenar y/o transportar, de grandes dimensiones o peso, que tengan dimensiones o diseños incompatibles con otros productos, inestables, de rápida caducidad u obsolescencia, tóxicos o peligrosos, que requieran procedimientos constructivos de mayor complejidad, que necesiten herramientas específicas o que sean de disponibilidad limitada en el contexto del proyecto tienen menor grado de constructividad.

Por ejemplo, los revestimientos de muros a base de paneles de materiales pétreos (e.g. mármol) implican tareas de construcción de alta dificultad. Se trata de materiales por lo general frágiles, que se quiebran o rayan con facilidad; que se manchan cuando son porosos y que en ocasiones no pueden siquiera estar en contacto con agua (alabastro). Deben ser almacenados en lugares secos y sin vibraciones, y son difíciles de manipular debido a su peso y fragilidad inherente. Requieren de maquinarias, herramientas y mano de obra especializada, las que son, corrientemente, escasas. Ante esto, a fin de aumentar el grado de constructividad, un diseño que considere este tipo de material para revestimiento podría, entre otros: (1) cambiar la modulación de manera de tener paneles más pequeños y compactos, lo que disminuye el peso y permite la manipulación por obreros sin necesidad de maquinaria; (2) estudiar la relación geométrica entre espesor y largo/ancho a fin de disminuir el riesgo de fractura; (3) proponer un sistema de cuelgue o anclaje al muro que permita que el revestimiento sea instalado al final de la obra, cuando menos riesgos existen para el material; 4) diseñar canterías y separaciones que permitan esconder tolerancias de montaje, etc.

Dentro de la misma dimensión de características propias de los materiales, se incluye el análisis de requisitos de *transporte y condiciones de almacenamiento*. A igualdad de condiciones, la especificación de materiales que exijan transporte pesado (e.g. prefabricados de hormigón), peligroso

(e.g. ácidos), que sean de grandes dimensiones (e.g. elementos de madera laminada), que requieran ser almacenados en forma independiente (e.g. químicos), que necesiten hermeticidad (e.g. partículas volátiles, hidrosensibles), que sean extremadamente frágiles (e.g. cristales de grandes dimensiones), que caduquen rápidamente (e.g. tinturas químicas), o que sean de condición inestable (e.g. materiales vegetales), disminuye el grado de constructividad.

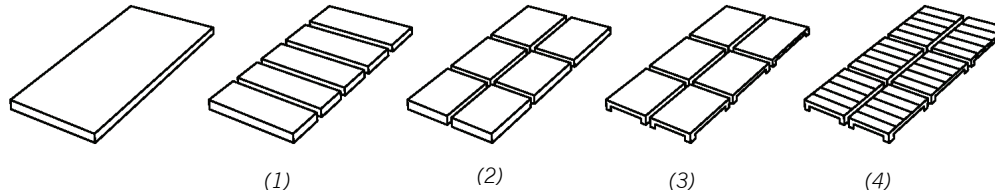


Figura 28:  
Ejemplo de cambio de modulación en panel pétreo para hacerlo más manejable

Un caso especialmente complejo lo constituyen los *materiales tóxicos o de operación riesgosa*. Materiales que sean peligrosos durante su almacenamiento, transporte y manipulación, o que requieran faenas riesgosas para su manipulación aumentan considerablemente el nivel de dificultad de construcción. Por ejemplo, la instalación de alfombras cubrepisos requiere en ocasiones del uso de adhesivos que emiten gases tóxicos, por lo que se requiere de espacios bastante ventilados durante su utilización. Diseños de subterráneo o salas mediterráneas que contemplen este tipo de revestimiento de piso representan complicaciones en obra, pues requieren de la instalación de ventilación mecánica durante la instalación. Otros casos similares ocurren con otros materiales conflictivos, tales como aquellos derivados del asbesto, adhesivos con tolueno, pinturas con plomo, preservantes como creosota y pentaclorofenol, espumas aislantes con emisiones de formaldehído, o barnices con solventes a base de hidrocarburos.

El segundo gran ámbito de consideración tiene relación con la *disponibilidad* de los materiales en el contexto de la obra y con la *coordinación* entre ellos. Al igual como ocurre con los factores de mano de obra y de herramientas, la dificultad de construcción de un proyecto puede verse notoriamente incrementada si su diseño no considera la disponibilidad de los materiales, productos, insumos y materias primas requeridas en el contexto del proyecto. A igualdad de condiciones, diseños que consideran materiales que no existen en el lugar del proyecto o que requieren transporte desde otro lugar, que tienen complicados procesos de distribución, que son difíciles de reponer o que tienen producción limitada, que son escasos o únicos, que tengan limitantes sanitarias o legales para su adquisición o que sean desconocidos y/o especiales, entre otros, tienen menor grado de constructividad.

Por ejemplo, la construcción con madera sigue los mismos principios básicos en todos los lugares; sin embargo, existen innumerables pequeñas diferencias que surgen a partir del tipo de madera que se utiliza. Diferencias en las especies (y sus propiedades naturales, como color, veta, dureza, etc.),

dimensiones comerciales, grados de calidad, preservación y humedad, niveles de elaboración y disponibilidad de subproductos son algunos de los principales factores que modifican los procesos en obra. El transporte de madera de un cierto tipo desde un lugar a otro como medida de solución a la falta de disponibilidad local tampoco es una tarea fácil: la madera mantiene la humedad de equilibrio de su zona, y cambios bruscos en ella pueden terminar en torceduras o rajaduras. Como material vivo, demasiada exposición al sol, viento, lluvia u otras condiciones ambientales alteran sus propiedades. Diseños con mayores grados de constructividad son aquellos que utilizan tipos y productos de madera (dimensionada, elaborada, preservada, etc.) que son propios y están disponibles comercialmente en el contexto de proyecto. Además, por lo general, el trabajo carpintero es de mucha mejor calidad cuando los trabajadores utilizan maderas a las que están acostumbrados y son conocedores de su comportamiento (rajadura de veta, corte, dureza, ensanche, etc.)

Otra dimensión de análisis de disponibilidad de materiales también incluye las condiciones de *reposición y sustitución*, especialmente con productos partes y piezas. Por ejemplo, la cubicación exacta de cerámicas es una faena siempre complicada, pues no sólo depende de la superficie efectiva de revestimiento necesario, sino además de la geometría y posición de artefactos (pérdida por corte de ajuste), del formato, espesor y calidad de la cerámica (pérdidas por manipulación o almacenamiento) y de la calidad del maestro ceramista. Un diseño que especifique cerámicas especiales para un tipo de baño, ya sea por su nivel de exclusividad o porque se encuentran disponibles sólo en un proveedor lejano, obliga al equipo constructor a (1) comprar más cerámicas de las estrictamente necesarias a fin de suplir la incertidumbre del porcentaje de pérdida; o (2) ir comprando cerámicas según vaya avanzando la obra. Ambas situaciones aumentan la dificultad de construcción, ya sea por el mayor costo y problemas de almacenamiento o por la necesidad de mantener activa la cadena de suministro a tiempo exacto.

Por último, la revisión de este factor también incluye la consideración de la cantidad, complejidad o dificultad de las *tareas secundarias o auxiliares* que se requieren para la utilización de los distintos materiales. Por ejemplo, el hormigón coloreado es un material que, aunque industrializado y sujeto a estrictos controles de calidad, es de alta variabilidad y cuyo resultado final depende de muchos factores, usualmente externos. Para tener un cierto grado de control de comportamiento, es necesario realizar bastantes ensayos en obra para poder definir la composición exacta que otorga el color requerido; y desde ese momento, el trabajo de hormigonado debe realizarse bajo estrictas condiciones ambientales y de trabajo. Un diseño que deban contemplar este material, a fin de aumentar sus grados de constructividad podría, entre otros: (1) especificar colores con menores umbrales de variación, (2) especificar texturas que permitan disimular variaciones de tonos a través de pequeñas sombras, (3) utilizar la variación tonal como parte del diseño (e.g. mosaico), (4) y por supuesto, reemplazar el coloreado por tratamientos de tinturas superficiales, que, en todo caso, también pueden ser a base de productos cementicios.

## § 6.2.2. Factores externos a obra

### a. Clima

El grado de constructividad de un diseño está determinado por la intensidad y características de las condiciones climáticas, atmosféricas y ambientales de la(s) zona(s) en la(s) que se desarrollarán tareas de construcción definidas por el proyecto. Diseños con mayores grados de constructividad son aquellos que involucran tareas de construcción que se pueden desarrollar más fácilmente en las condiciones climáticas y atmosféricas más probables de tener en el contexto del proyecto.

En relación a la consideración de este factor, en el análisis de constructividad se debe distinguir entre dos condiciones diferentes: (1) diseños que deben realizarse en zonas con *condiciones climáticas agresivas o extremas*, (2) en zonas con *condiciones climáticas moderadas* o con *condiciones atmosféricas cambiantes*.

El primer ámbito de consideración de este factor tiene relación con aquellos diseños que deben ser construidos en *zonas con climas agresivos o extremos*. A igualdad de condiciones, diseños que obliguen a realizar tareas de construcción a la intemperie o en forma desprotegida en lugares con alta radiación solar, con temperaturas extremas, alta oscilación térmica, con abundantes precipitaciones (lluvia o nieve), con vientos fuertes, polvo en suspensión, con humedades extremas, alta salinidad, poco oxígeno (e.g. en climas de altura), entre otros elementos climáticos agresivos, tienen menor grado de constructividad.

Es importante aclarar que no es el clima agresivo propiamente tal el que es determinante del grado de constructividad, sino la respuesta de diseño en cuanto a grado de anticipación, previsión y facilitador de desarrollo de tareas de construcción en forma protegida. A diferencia de los primeros 4 factores internos de la constructividad, el clima representa un factor externo que *no puede ser controlado por el equipo de proyecto*. En el análisis de la mano de obra, por ejemplo, se afirma que a igualdad de condiciones, diseños que obliguen el uso de mano de obra escasa en un lugar disminuye su grado de constructividad. Sin embargo, como es un factor interno, esto implica que el equipo de proyecto siempre tiene la alternativa de cambiar el diseño o cambiar la mano de obra: en ciertas ocasiones el equipo de proyecto podría decidir mantener un diseño que requiere mano de obra especializada que no está disponible en el lugar —disminuyendo la constructividad de ese factor— pero aumentando la constructividad total del proyecto a través de los otros factores. La mano de obra es un factor interno afectable por el equipo de proyecto, al igual que los procedimientos constructivos, las herramientas o los materiales. El clima, en cambio, es un factor externo no afectable por el equipo de proyecto, un dato de proyecto, o según el lenguaje propuesto por el MADC, una restricción de diseño (*vid.* § 5.2.1.). El equipo no puede decidir cambiar o no el clima para mejorar la constructividad, pero lo que sí puede hacer es cambiar el diseño para anticipar

dificultades en obra dadas por un clima agresivo, y especificar tareas de construcción que pueden ser desarrolladas en forma protegida y controlada.

Por ejemplo, las precipitaciones de lluvia son probablemente uno de los problemas más usuales en obra: impiden desarrollar tareas de excavación por riesgo de derrumbe, obliga a proteger las zonas de hormigonado, añade mayor riesgo a todas las faenas en altura y en terreno descubierto, no se pueden realizar faenas de impermeabilización, obliga a proteger materiales en acopio o disminuye la visibilidad, entre otros múltiples inconvenientes. En la mayoría de los casos, los administradores de obra pueden manejar estas situaciones con cambios en la programación de obra o con protecciones provisionarias. Sin embargo, en el caso de climas extremos donde el nivel de precipitaciones es muy alto, lluvias intensas, con viento o con largos periodos de lluvia, definitivamente el diseño puede jugar un rol clave. Por citar un caso, las pinturas exteriores son prácticamente imposibles de realizar en situaciones de lluvia intensa o cuando hay vientos fuertes, al igual que la aplicación de sellantes o impermeabilizantes líquidos. A fin de aumentar el grado de constructividad, el diseño podría especificar materiales de revestimiento exterior con terminación incluida, pre-pintados o con sellado por presión, o plantear sistemas de revestimiento continuo o de paneles prefabricados, disminuyendo el tiempo de trabajo al exterior.

Un caso más extremo, pero no inusual, es cuando se debe realizar faenas de hormigonado con temperaturas muy bajas o con riesgo de congelación. En estos casos existe un serio peligro que no se desarrolle completamente la reacción química entre el agua y el cemento, inutilizando completamente la mezcla. Para el hormigonado estructural tradicional existen distintos métodos que permiten controlar esta situación, desde simplemente calentar el agua hasta sofisticados aditivos químicos anticongelantes. Sin embargo, faenas como estucado, mortero proyectado (*shotcrete* y/o *gunita*) o reparaciones de nudos son extremadamente difíciles o simplemente no pueden realizarse. De la misma forma, a fin de aumentar el grado de constructividad, en un contexto frío o polar el diseño podría reemplazar este tipo de soluciones por otro tipo de materialidad de terminación en seco tales como paneles de acero pre-pintado, revestimientos de PVC o —manteniendo la materialidad original— hormigón arquitectónico o paneles de hormigón prefabricado (e.g. *sistemas tilt-up*), entre otros.

Otro ámbito de consideración de este factor tiene relación con aquellos diseños que deben construirse en zonas con climas *moderados o con alta variación de las condiciones de tiempo atmosférico*. En estas situaciones el rol principal del diseño es dar flexibilidad de programación y administración, disminuyendo en lo posible aquellas faenas que son dependientes de ciertas condiciones atmosféricas. A igualdad de condiciones, diseños que especifiquen materiales que pueden deteriorarse fácilmente por afecciones climáticas (e.g. corrosión de metales en lugares salinos), que impliquen riesgo de daño de faenas realizadas (e.g. shock térmico en soldaduras en lugares con alta oscilación térmica día-noche), que aumenten probabilidades de retraso o detención

de obra (e.g. instalación de tejas o tejuelas en zonas con vientos matutinos o vespertinos), que obliguen tareas que afectarán el normal rendimiento de la mano de obra (e.g. trabajos en cubiertas reflectantes en zonas de alta asoleamiento), que aumenten el riesgo de error o problemas en la ejecución (e.g. estuco exterior en zonas de asoleamiento intenso), que requieran condiciones específicas de trabajo (e.g. enyesado de muros), que obliguen tareas de compensación por cambios en las condiciones atmosféricas (e.g. secado, humectado, etc.), que disminuyan la seguridad en obra (e.g. excavaciones profundas en zonas con lluvias intermitentes), entre otras muchas situaciones, tienen menor grado de constructividad.

Probablemente la pauta de mejoramiento del grado de constructividad más común en relación con este factor es “*dar la posibilidad de cerramiento temprano*” (CIRIA, 1983; CII, 1987; Adams, 1990; Lam *et al.*, 2006a, 2007; Wong *et al.*, 2006b, entre varios otros). Literalmente aplicada, significa permitir que las faenas de cerramiento puedan ser ejecutadas lo antes posible, idealmente apenas la estructura esté lista. Un diseño que siga esta pauta, podría, por ejemplo, (1) plantear un sistema mixto donde estructura y cerramiento constituyan un solo elemento arquitectónico, (2) diseñar una estructura reticulada liviana tipo *ballon-frame*, que permita rápidamente alcanzar el nivel de cubierta aún sin tener ningún tipo de cerramiento de muros; (3) plantear elementos perimetrales, solidarios con la estructura principal del edificio, que puedan ser construidos primero que el resto y constituir soporte para un cerramiento temporal durante la construcción; etc. Sin embargo, como todas las pautas de constructividad, esta debe entenderse sólo aplicable en el mismo contexto que le dio origen (*vid.* §§ 2.2.2. y 6.4). Por ejemplo, en un proyecto ubicado en un contexto caluroso o donde se realicen faenas interiores con levantamiento de polvo o emisión de gases por adhesivos, el cerramiento temprano sin tener sistemas mecánicos de aire puede implicar una pérdida importante de ventilación interior, y por lo tanto ser incluso más perjudicial.

## b. Terreno

El grado de constructividad de un diseño está determinado por las características topográficas, geotécnicas y ambientales del terreno del proyecto y su entorno inmediato, y por el grado de incertidumbre que se tenga sobre ellas. Diseños con mayores grados de constructividad son aquellos que implican tareas de construcción que requieren contextos de trabajo que se corresponden con las condiciones topográficas, geotécnicas y ambientales del terreno del proyecto.

En relación a la consideración de este factor, el análisis de constructividad se puede realizar en tres ámbitos distintos: (1) *características propias* del terreno, (2) *grado de incertidumbre* sobre esas características y (3) *características del entorno inmediato* al terreno.

Al igual que lo que ocurre con el clima, el terreno es un factor externo no afectable por el equipo de proyecto. Por lo tanto, no son las características del terreno propiamente tales lo que representa el *corpus* de este factor de constructividad, sino la respuesta de diseño en cuanto grado de anticipación, previsión y facilitador de faenas en la zona de construcción.

El primer ámbito de consideración de este factor tiene relación con las *características propias* del terreno. Estas pueden ser características topográficas (tales como planimetría, altimetría, elementos existentes, etc.), o geotécnicas (tales como composición, resistencia estática y sísmica, presencia de aguas subterráneas, etc.). A igualdad de condiciones, diseños que obliguen a realizar tareas de precisión en terrenos con formas complejas, que impliquen mantener múltiples niveles en terrenos irregulares, que deban ajustarse con exactitud a diferentes medianeros, que impliquen almacenar o transportar materiales en pendientes irregulares, que sobrerrequieran la construcción de andamios, plataformas o estructuras auxiliares de nivelación, que demanden maquinaria pesada en terrenos inestables, que requieran excavaciones peligrosas, que deban proteger elementos inamovibles dentro del terreno (e.g. árboles, monumentos), entre otras características, tienen menor grado de constructividad.

Por ejemplo, los terrenos con pendientes irregulares, escarpadas o abruptas representan escenarios difíciles para construir. Se dificulta el desplazamiento interno para la mano de obra, maquinarias y para materiales; la falta de terreno plano dificulta el almacenamiento de materiales y la instalación de oficinas, comedores u otros necesarios para las faenas; se dificulta el cerramiento de la obra; obliga a la construcción de andamios y plataformas de trabajo; requiere de movimiento de tierras con maquinaria pesada y construcción de refuerzos y muros de contención; es difícil mantener niveles y ajustar la construcción al terreno natural. Ante esto, a fin de aumentar el grado de constructividad, un diseño que deba ser realizado en este tipo de terreno podría, entre otros: (1) plantear una volumetría general que minimice la construcción a diferentes niveles y que concentre la mayor parte del programa en una misma zona; (2) plantear un diseño que respete estrictamente las curvas

naturales del terreno disminuyendo la necesidad de realizar constantes excavaciones y rellenos, (3) dependiendo de las necesidades del programa, plantear una zona general plana cercana al acceso general al sitio, de manera que una de las primeras faenas sea un movimiento pesado de tierras para despejar esa plataforma que luego servirá para la instalación de faenas, (4) pensar un diseño que permita tener más de un acceso a obra, por ejemplo uno superior (a favor la pendiente) y uno inferior (contra de la pendiente), etc.

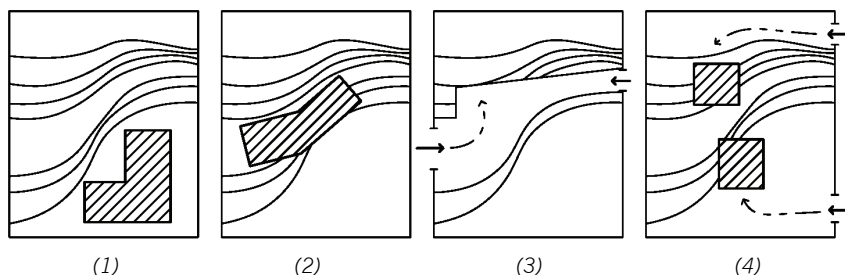


Figura 29:  
Ejemplo de cambio de  
emplazamiento de  
volumen en pendiente  
difícil

Otra situación difícil en obra ocurre en aquellos terrenos que tienen características geotécnicas de riesgo o inestables, con baja resistencia, de composición irregular, con presencia de aguas subterráneas, “bolsillos” de gases, fallas geológicas o vetas de minas; o en general, con características heterogéneas o desiguales. Ante esto, a fin de aumentar el grado de constructividad, el diseño podría, por ejemplo, usar como estrategia principal la disminución al mínimo posible el grado de dependencia en las características del terreno, (1) planeando un mejoramiento general del terreno, (2) planteando un sistema de fundaciones de platea continua flotante, (3) fundando con elementos puntuales profundos en zonas específicas donde se conoce con seguridad sus características geotécnicas y sobre ellos desarrollar un sistema de fundación volada, etc., entre otras varias posibilidades.

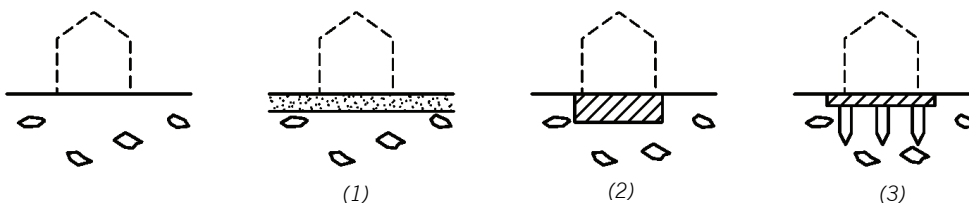


Figura 30:  
Ejemplo de cambio de  
fundaciones en terrenos  
difíciles

Un escenario bastante común de dificultades adicionales en obra ocurre en aquellos terrenos donde existen elementos inamovibles o que deben ser protegidos durante las faenas, tanto *dentro del terreno* (e.g., árboles, monumentos, edificaciones preexistentes, instalaciones, etc.), en el *perímetro del terreno* (e.g. postes de electricidad, señalética urbana, etc.) o *fuera del terreno* (e.g. edificios colindantes que están dentro del radio de giro de la pluma de la grúa). Estas situaciones son especialmente difíciles porque limitan notablemente la accesibilidad interna del terreno (*vid.*

§ 6.2.2.c.). Por ejemplo, un proyecto que considere relevante preservar un árbol existente al interior del terreno e incluirlo como parte de una plaza exterior en el diseño final obliga a encapsular el árbol (protección de follaje y aislación de tierra manteniendo riego y drenaje) durante la obra, especialmente hasta que se construya el pavimento de la plaza, momento en el cual usualmente las protecciones se liberan y el árbol queda en su condición final, vulnerable a posibles destrozos y polución. A fin de permitir prolongar la protección de este elemento, y así aumentar el grado de constructividad del proyecto, el diseño podría, por ejemplo, plantear un pavimento diferente en la zona inmediatamente circundante al árbol, de manera que durante la construcción del pavimento de la plaza el árbol no necesite descubrirse, y sólo una vez que la obra ha disminuido su intensidad y riesgos de daño, se libere su protección y construya el sector faltante.

Un segundo ámbito de consideración de este factor tiene relación con el *grado de incertidumbre* sobre las reales características del terreno. Evidentemente, lo más recomendable siempre es tener el mayor nivel de investigación del terreno; sin embargo muchas veces esto no es posible, por múltiples factores, desde la imposibilidad técnica de estudiar el sitio hasta las limitantes económicas que hacen inviable un estudio exhaustivo. En estas ocasiones, el proyecto se encuentra en una situación especialmente difícil donde las faenas de construcción se pueden volver complejas si las condiciones reales del terreno resultan ser diferentes a las esperadas. Ante esto, a fin de aumentar el grado de constructividad del proyecto, el diseño podría usar como estrategia principal la maximización del grado de flexibilidad y ajuste de diseño en otra según se vayan evaluando las condiciones reales. Por ejemplo, en un terreno con altimetría muy variable, deslindes en pendientes inaccesibles y geometría general irregular, el levantamiento topográfico tiene un potencial mayor grado de inexactitud. El diseño volumétrico general, anticipando los problemas de obra que pueden ocurrir por esta situación, podría plantearse con dos unidades perimetrales de dimensiones flexibles y ajustables a las condiciones reales del sitio, disminuyendo la presión por exactitud en obra.

El tercer ámbito de consideración de este factor tiene relación con las condiciones y grado de sensibilidad del *medio ambiente inmediato* al terreno. Terrenos de construcción que estén en un entorno vulnerable, que tengan estructuras medianeras colindantes, que se encuentren en contextos sensibles natural o socialmente (e.g. colindante con colegios, hospitales) o que tengan infraestructura pública bajo el terreno, entre otras situaciones, representan escenarios donde el nivel de dificultad aumenta. Por ejemplo, en un terreno altamente complejo, como aquellos con edificios de cuidado de ancianos y jardines infantiles como propiedades colindantes, mantener un estricto control de la polución atmosférica o del ruido puede representar un punto complicado para la administración de obra. A fin de disminuir los posibles problemas y aumentar el grado de constructividad del proyecto, el diseño podría plantear un sistema constructivo prefabricado en seco que minimice las faenas ruidosas en terreno y las que ocasionan levantamiento de partículas en suspensión.

### c. *Accesibilidad*

El grado de constructividad de un diseño está determinado por la cantidad y calidad de espacio libre disponible al interior del terreno y por la capacidad de carga de las vías de acceso a la(s) zona(s) donde se desarrollarán las tareas de construcción definidas por el proyecto. Diseños con mayores grados de constructividad son aquellos que especifican tareas de construcción que requieren una cantidad de espacio libre para maniobras y vías de transporte de carga que se corresponden con la disponibilidad real del terreno.

En relación a la consideración de este factor, en el análisis de constructividad se debe distinguir entre dos situaciones completamente diferentes: (1) *accesibilidad interna*, referida a las consideración del espacio libre necesario al interior del sitio de construcción; y (2) *accesibilidad externa*, referida a la consideración del espacio libre, vías de acceso y capacidad de carga desde el exterior hasta el sitio de construcción, específicamente, de aquellas vías de conexión con proveedores de materiales, instalaciones industriales y otros sitios relevantes para el proceso en obra.

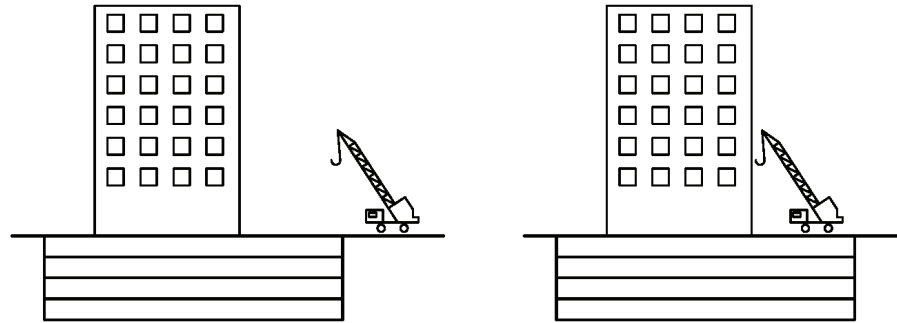
El primer ámbito de consideración de este factor tiene relación con la *accesibilidad interna* del terreno. A igualdad de condiciones, diseños que involucren u obliguen trabajos en terrenos vecinos, que requieran mayor instalación de faenas y/o almacenamiento de materiales, que especifiquen materiales y productos de grandes dimensiones que requieran maquinaria o gran cantidad de espacio para su manipulación, que requieran de construcción de andamios o plataformas de trabajo apoyadas en formas irregulares, flotantes o colgantes, que obliguen a tomar medidas de seguridad adicionales por riesgos de caídas desde espacios de trabajo reducidos en altura, que presenten detalles complejos o inaccesibles, entre otras varias situaciones, tienen menor grado de constructividad.

El análisis de accesibilidad interna se puede hacer en tres dimensiones o escalas diferentes: (1) *escala mayor*, referida a la accesibilidad de grandes equipos o maquinarias; (2) *escala media*, referida a la accesibilidad de los trabajadores y su espacio personal de trabajo y (3) *escala menor*, referida a la accesibilidad al detalle o elemento puntual de construcción.

Por ejemplo, un proyecto de edificios de oficinas típicamente contempla una torre con (a veces) generoso espacio público libre en primer piso, y un complejo de estacionamientos subterráneos de toda la extensión del terreno. Usualmente la losa de primer piso se diseña de manera de soportar la carga normal de uso. Esta decisión impide sobrecargar la losa con maquinaria pesada, como un camión *mixer* con concreto, obligando a mantener ese espacio valioso de trabajo con carga liviana. En el caso del concreto, la distancia adicional requerida para estacionar el camión es, por dar un caso, especialmente relevante si se utiliza hormigón bombeado, pues aumenta la exigencia de presión, demandando bombas más poderosas (y costosas) o rebombeo intermedio. A fin de

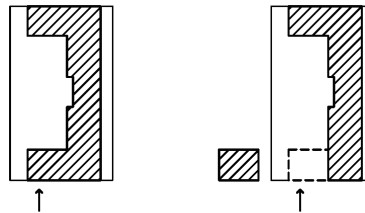
aumentar el grado de constructividad, un diseño podría reforzar una zona parcial de la losa (lo que es un costo marginal en términos de estructura), permitiendo su uso como plataforma de carga pesada en la proximidad inmediata a la torre. Demás está decir que esta decisión no sólo es valiosa desde el punto de vista de mejoramiento de constructividad, sino además del desempeño posterior del edificio, por ejemplo, permitiendo el acercamiento de camiones de bomberos cargados con toneladas de agua.

Figura 31:  
Ejemplo de cambio de losa para dar acceso a maquinaria pesada



Otro ejemplo de consideración de accesibilidad interna en escala mayor se da en aquellos edificios complejos en terrenos estrechos o urbanos de alta densidad. En estas situaciones el uso de maquinaria pesada, movimiento de materiales o incluso colocación de estructuras auxiliares temporales se ve notablemente reducido. A fin de aumentar el grado de constructividad, un diseño podría, por ejemplo, plantear un diseño en el cual una sección estratégica del edificio es estructural y constructivamente independiente, de manera que se pueda desarrollar al último y mantener ese espacio clave como área libre de maniobra.

Figura 32:  
Ejemplo de segmentación del edificio para permitir acceso al terreno



La escala media es tradicionalmente la que más problemas genera, precisamente porque es la menos considerada por el diseño. Contempla tener en cuenta el espacio mínimo de trabajo para el obrero y su entorno inmediato. Solo por nombrar algunas, son preguntas que caen en esta categoría: donde poner los andamios, donde acumular los materiales y herramientas que requiere el trabajador para su desempeño en su puesto, como evitar el transporte continuo de materiales desde la bodega

en la instalación de faenas y el punto de trabajo, que tipo de herramientas o equipos se requieren y si es posible utilizarlos en ese espacio libre, etc. Por ejemplo, los componentes de construcción que pueden ser utilizados por un trabajador sin apoyo mecánico son los ideales; hasta dos personas es aceptable. Cuando un componente debe ser manipulado necesariamente por tres o más trabajadores, se convierte en una faena que aumenta exponencialmente los requerimientos de espacio libre de manipulación. Ante esto, a fin de aumentar el grado de constructividad, un diseño podría, entre otros, cambiar el tamaño, peso o forma de los componentes, haciéndolos de más fácil manipulación.

La escala menor se refiere al acceso al detalle o punto específico de trabajo. Conexiones inaccesibles (e.g. clavado interior), espacios muy reducidos para el uso de herramientas (e.g. soldadura), lugares inalcanzables (e.g. interior de shafts), son muestras de esta situación. Por ejemplo, un caso relativamente frecuente es el de enfierraduras muy densas en elementos esbeltos de hormigón, lo que no sólo dificulta su armado por el enfierrador sino además hace extremadamente complejo su vibrado. Muchas veces las sondas vibratoras quedan totalmente imposibilitadas de penetrar, obligando a usar métodos de vibrado exterior o recurrir a hormigones autocompactantes. A fin de aumentar el grado de constructividad, un diseño podría, por ejemplo, sustituir la enfierradura tradicional por un elemento prefabricado conector en acero, que reciba los elementos de hormigón a través de anclajes y conectores sólidos.

El segundo ámbito de consideración de este factor tiene relación con la *accesibilidad externa* al terreno. A igualdad de condiciones, diseños que tengan perímetros irregulares con cerramientos herméticos, que tengan vanos pequeños que dificulten el ingreso de materiales, que necesiten del uso de la vía pública para la carga/descarga o para el estacionamiento continuo de camiones y maquinaria, que requieran traslado de componentes de grandes dimensiones desde sitios lejanos, que obliguen a considerar rutas alternativas para el traslado de productos, que sean de difícil acceso para la mano de obra, entre otras varias situaciones, tienen menor grado de constructividad.

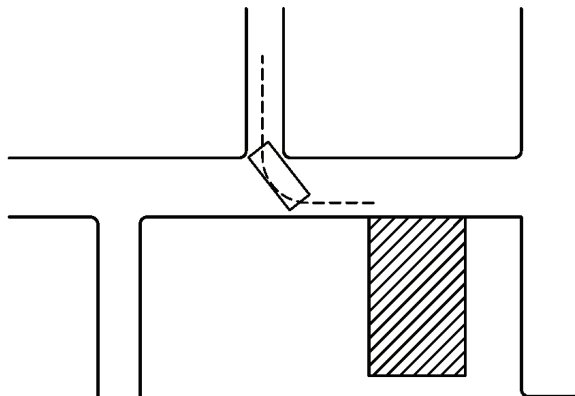
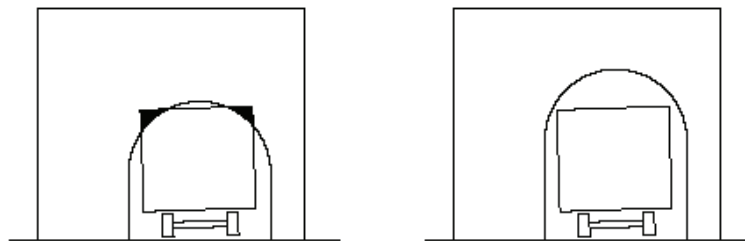


Figura 33:  
Ejemplo de poca  
accesibilidad exterior

La *accesibilidad externa mediata* del terreno es clave al momento de tomar las decisiones de diseño relacionadas con el grado de prefabricación *on-site* u *off-site*, o para la especificación de materiales especiales que deben ser transportados desde lugares lejanos al sitio de construcción. Caminos estrechos, con pendientes pronunciadas, con curvas cerradas o trazados geométricos difíciles pueden reducir la facilidad de transporte, requerir escolta policial o incluso lisa y llanamente impedir el transporte. Es, por ejemplo, lo que ocurre usualmente en terrenos urbanos en cascos históricos donde el trazado de calles no permite el giro de camiones o maquinarias de grandes dimensiones. Alturas de pasos bajo nivel, anchos de puentes, carga máxima de puentes, dimensiones de túneles, o pendientes máximas también definen los tamaños y cargas máximas de elementos o materiales de construcción, y directamente, de los componentes constructivos del proyecto. Métodos alternativos de transporte, como la carga marítima en terrenos costeros o incluso la carga pesada aérea son muy costosos y por lo tanto extremadamente inusuales.

Situación similar ocurre con el borde del terreno y cerramiento del edificio, denominada *accesibilidad externa inmediata* o perimetral. Las dimensiones máximas de los elementos de construcción, tales como materiales, componentes o maquinaria necesaria, están determinadas por el tamaño y forma de las aperturas en el borde del terreno y cerramiento del edificio. Por ejemplo, en una simple obra de remodelación de un baño en una casa particular, la instalación de una tina de loza de cuerpo completo está supeditada al tamaño de las puertas o ventanas que conecten hasta el punto de construcción. En obras mayores, muchas veces el diseño de aperturas obliga a ingresar y almacenar materiales (e.g. planchas de yeso cartón) o equipos (e.g. calderas, equipos hidroneumáticos), al interior de los futuros recintos antes de realizar las divisiones interiores, pues de lo contrario después no podrían ser introducidos, lo que evidentemente, añade una capa adicional e innecesaria de complejidad a la obra ante los mayores cuidados de protección. Ante esto, entre otras posibilidades, a fin de aumentar el grado de constructividad, el diseño podría plantear una serie de divisiones interiores sobrepuestas y desconectadas del resto, que puedan ser instaladas al final, y que liberen un pasillo o acceso general de los materiales, equipos y maquinarias necesarias al punto de construcción.

Figura 34:  
Ejemplo de cambio de  
acceso en proyecto para  
permitir ingreso de  
vehículos



#### d. Tiempo

El grado de constructividad de un diseño está determinado por la cantidad de tiempo que se requiera para realizar las tareas de construcción definidas por el proyecto. Diseños con mayores grados de constructividad son aquellos que implican tareas de construcción que se ajustan al mínimo posible de tiempo disponible en el contexto del proyecto.

En general, una obra de construcción pretende realizarse en el menor tiempo posible, pues cada día adicional de trabajo representa un costo en gastos directos y gastos generales, retraso en el proceso de venta, mayor costo del crédito, etc. Los administradores de obra, por definición, realizan su mejor esfuerzo en programar las actividades de manera de cumplir con este mandato; pero en ocasiones, el proyecto presenta características que hacen este trabajo más difícil de lo normal. Limitaciones por regulaciones, tales como restricciones de horarios de trabajo, o limitaciones dadas por terceros, tales como entrega restringida de materiales o servicios de terceros, por ejemplo, constituyen restricciones no afectables por el equipo de proyecto. Frente a estas, y tal como ocurre con todos los factores externos, el diseño puede anticipar problemas y plantear soluciones alternativas que minimicen estas situaciones, aumentando el grado de constructividad del proyecto. En otras ocasiones, el rol del diseño es más directo, como por ejemplo cuando la causa de limitaciones de tiempo se genera en la especificación de tareas de construcción con tiempos o ritmos de ejecución muy diferentes o que generan necesariamente tiempos muertos de trabajo. Estos dos tipos de limitaciones representan los dos ámbitos de análisis de este factor de constructividad: el primer tipo se denomina (1) *restricciones de tiempo externas a obra*, y el segundo tipo, (2) *restricciones de tiempo internas a obra*.

El primer ámbito de consideración de este factor tiene relación con las restricciones de tiempo *externas a obra*, es decir, aquellas que se generan por limitaciones fuera del alcance de control del equipo de proyecto. En este contexto, a igualdad de condiciones, diseños que involucren tareas que no se puedan realizar en determinados horarios restringidos por legislaciones o regulaciones locales, que impliquen contratación de servicios externos a proveedores de baja velocidad de respuesta o con irregular desempeño, que sólo se puedan realizar a cierta hora del día o con específicas condiciones ambientales, que impliquen constante carga y descarga en lugares con acceso restringido de camiones, que impliquen faenas ruidosas en lugares con horarios protegidos, entre otras características, tienen menor grado de constructividad.

Por ejemplo, las faenas de concreto *in situ* en entornos urbanos céntricos representan un verdadero desafío de programación de obras. Por lo general, durante el día, el acceso y circulación de camiones está restringido; y durante la noche, la emisión de ruidos molestos está prohibida. Los administradores deben conciliar ambas situaciones, programando la llegada de camiones con áridos o con hormigón premezclado temprano en la madrugada, y desarrollar las faenas de concretado

durante la mañana. Cualquier retraso (e.g. confección de armaduras o colocación de moldajes) obliga a postergar la programación hasta el día siguiente. Ante esto, a fin de aumentar el grado de constructividad, el diseño podría minimizar la cantidad de concreto *in situ* y proponer un mayor grado de prefabricación de hormigón (e.g. sistemas *tilt-up*, elementos pretensados) o de elementos de acero.

El segundo ámbito de consideración de este factor tiene relación con las restricciones de tiempo *internas a obra*, es decir, aquellas que se generan por demandas de tiempo de las propias faenas al interior de la obra y bajo el control del equipo de proyecto. A igualdad de condiciones, diseños que requieren tareas de construcción con tiempos de ejecución notablemente más lentos que el resto de las faenas, que requieren tareas con tiempos muertos de espera (e.g. secado, fraguado, etc), que requieren faenas que son necesariamente lentas o pausadas en su ejecución, entre otras varias características, tienen menor grado de constructividad.

Por ejemplo, el levantamiento de muros de albañilería tradicional con ladrillo de arcilla cocida hecho a mano y mortero de pega hecho en obra es, por defecto, una faena que no se puede acelerar por sobre su rendimiento clásico. No se pueden levantar más de 8 o 10 hiladas en una misma jornada, pues el peso de los ladrillos superiores aplasta a los inferiores, ni tampoco se puede extender la jornada de trabajo muy temprano o muy tarde porque los cambios de temperatura provocarían deshumectación descontrolada. Ante esto, en un proyecto que deba reducir su tiempo de construcción, a fin de aumentar el grado de constructividad, el diseño podría, por ejemplo, reemplazar la albañilería tradicional por albañilería a base de bloques de hormigón celular autoclavado, que usan un mortero adhesivo de 3 mm de tendel, y por tanto, se puede levantar el muro completo en una jornada. Además, dado que es un mortero elástico especial, soporta mejor los cambios de temperatura y no corre el riesgo de contracción de fragua.

Otro caso de análisis de este mismo factor podría ser un proyecto que tenga una mayor restricción de tiempo de construcción. Aquí, todas las faenas húmedas se han reducido al mínimo posible, de manera de mantener una línea de trabajo ininterrumpida y que no genere tiempos de fragua, curado o secado. En este contexto, a fin de aumentar el grado de constructividad, el diseño podría, por ejemplo, plantear un sistema de prefabricación en seco en terreno, con dos líneas de trabajo que funcionen en paralelo. Para simplificar el montaje, se plantea que el número de partes se reduzca y que los componentes sean productos que requieran mínima terminación en su posición definitiva, así como que sean del máximo tamaño disponible que pueda ser manipulado por 1 o dos trabajadores.

Otra dimensión de consideración en proyectos que tienen tiempos de construcción especialmente reducidos está en la cantidad de tareas secundarias o auxiliares necesarias. A igualdad de condiciones, diseños que impliquen construcción de estructuras temporales (e.g. plataformas de

trabajo), movimientos de tierras sólo para fines de operación en terreno (e.g. rampas, taludes), toma de medidas especiales de seguridad (e.g. construcción de puntales de sujeción, entibaciones, panderetas), construcción de elementos de uso único (e.g. moldes, plantillas o similares), entre otras características, tienen menor grado de constructividad.

En general, el análisis de constructividad por limitantes de tiempo internas a obra está estrechamente ligado al análisis del factor de procedimientos constructivos (*vid.* § 6.2.1.b.). En este aspecto, la principal estrategia de análisis consiste en repasar imaginariamente la secuencia constructiva y la consecuente probable programación de obras a fin de identificar aquellas tareas que limitan la velocidad de construcción, los posibles choques de actividades, las tareas que generan tiempos muertos de espera, los “cuellos de botella”, o las actividades claves dentro del camino crítico. A fin de aumentar el grado de constructividad en proyectos con tiempos de construcción reducidos, el diseño puede actuar sobre todas estas tareas, cambiando aquellos aspectos que las obligan e introduciendo alternativas que den flexibilidad de programación.

### § 6.2.3. Factores transversales

#### a. Comunicación

El grado de constructividad de un diseño está determinado por la claridad, cantidad, especificidad y calidad de la información del proyecto diseñado y por la fluidez y calidad de comunicación entre el equipo diseñador y el equipo de construcción. Diseños con mayores grados de constructividad son aquellos que son interpretados y comprendidos más fácilmente por el equipo constructor.

A diferencia de los factores internos o externos —que se refieren fundamentalmente a las características del producto de diseño (el propio edificio diseñado)— los factores transversales se refieren fundamentalmente a las características del proceso de diseño (el modo de trabajo de los diseñadores). Son, sin embargo, de gran impacto en el nivel de dificultad de obra y son absolutamente afectables por el equipo de proyecto. En el caso del factor de comunicación, se refiere específicamente a la etapa de elaboración del expediente técnico de proyecto que posteriormente será interpretado por el equipo constructor para su materialización y a la comunicación entre diseñadores y constructores durante el transcurso de obra.

En relación a la consideración de este factor, el análisis de constructividad distingue entre: (1) calidad del *producto de comunicación*, entendido como el expediente físico o digital de información que el equipo diseñador le entrega al equipo constructor para su interpretación y materialización y (2) calidad del *proceso de comunicación*, entendida como la relación social profesional y proceso de intercambio de información entre el equipo diseñador y equipo constructor durante el desarrollo de la obra.

El primer ámbito de consideración de este factor tiene relación con la calidad del *producto de comunicación*. A igualdad de condiciones, diseños que estén incorrectamente documentados, con planimetrías incompletas, incoherentes o defectuosas, con ambigüedades, detalles incomprensibles, especificaciones insuficientes u obsoletas, con excesiva cantidad de dibujos, que requieran demasiados esfuerzos de cruce de información en distintos soportes, con falta de información sobre los procesos de montaje o construcción de los diseños, con planimetrías que no respetan los estándares y códigos de dibujo técnico, o con soportes gráficos incompatibles con el trabajo en obra, entre otras características, tienen menor grado de constructividad.

La regla elemental general es que cuando el equipo constructor no es capaz de interpretar en forma sencilla la documentación de proyecto y entender qué es exactamente lo que se debe o pretende construir, se añade una capa adicional e innecesaria de dificultad a la construcción. En el mejor de los casos, mayor tiempo de estudio, consultas al equipo diseñador y mayor cantidad de reuniones de coordinación son necesarias. En el peor de los casos, construcción de diseños equivocados, cambios

de proyecto por errores de interpretación o errores que amenazan la calidad o seguridad en obra son algunos de los problemas ocasionados por diseños con baja constructividad por fallas en la consideración de este factor.

En la industria de la construcción actual, el dibujo técnico planimétrico es (todavía) el principal medio de comunicación de proyecto. Usualmente, el expediente técnico de proyecto consiste en un conjunto de dibujos en papel de gran tamaño y un archivador con especificaciones técnicas escritas en formato carta u oficio. Estos documentos se conservan en la oficina técnica en obra y deben ser analizados e interpretados visualmente en forma análoga por el equipo constructor. Con este método de trabajo, el mismo que se ha mantenido sin cambio durante los últimos 200 años, la calidad gráfica, tipos de formatos y escalas, uso de notas y observaciones escritas o los estándares de expresión planimétrica son fundamentales. Los problemas más comunes son (1) información insuficiente e (2) información incoherente.

El principal problema es la información insuficiente, tales como baja cantidad de cortes y escantillones que no alcanzan a describir todo el proyecto, planos generales con falta de detalles constructivos con encuentros no resueltos, falta de indicación de materiales en los planos y ambigüedad en las especificaciones, falta de diseño constructivo de modulación o cortes de material, acotado insuficiente o falta de información sobre proceso de montaje, ensamble o construcción del detalle, entre los más recurrentes. El segundo problema es la información incoherente entre los distintos soportes gráficos, tales como planos que indican una solución y que no se refleja en otros, sobreadundancia de planos que obliga al constante cruce de información entre distintos dibujos, detalles genéricos que no son aplicables, dibujos bidimensionales ambiguos o falta de vistas isométricas o espaciales para la comprensión total, especificaciones obsoletas o no concordantes, entre los más recurrentes.

En proyectos incompletos o con información incoherente se requieren constantes aclaraciones, cambios o modificaciones de proyecto durante el transcurso de obra, lo que de no hacerse correctamente, constituyen más problemas que soluciones. Por ejemplo, cambios de proyecto no coordinados, no difundidos, no reflejados en los planos, no ampliamente informados, cambios en especificaciones de producto sin modificación en las dimensiones o modulación en los planos, o modificaciones parciales que no asumen la modificación de partidas conectadas, son situaciones que retrasan o definitivamente impiden el desarrollo de la obra afectando seriamente el grado de constructividad del proyecto.

Una estrategia ampliamente recomendada (Thabet, 1999) para aumentar el grado de constructividad de los diseños por consideración de este factor, es el uso de tecnologías digitales de visualización y comunicación con modelos 3D. El uso de este tipo de modelos computacionales ha demostrado ser un efectivo método para la reducción de incoherencias espaciales, interferencia física y falta de

concordancia entre distintos soportes gráficos. Asimismo, permite un mayor y más rápido entendimiento por parte del equipo constructor (incluyendo a obreros), y consecuente disminución de tiempo de análisis e instrucción. Los modelos BIM (*vid.* § 3.2.1.b.) permiten además concentrar no sólo la información geométrica espacial del proyecto, sino además la información de materiales, cantidades y otras especificaciones, concentrando en un solo lugar un porcentaje considerable de la información de construcción, lo que disminuye el cruce de soportes y la probabilidad de error. Dado que son intrínsecamente unitarios, los cambios de proyecto son siempre reflejados en toda su dimensión y son de inmediata actualización.

El segundo ámbito de consideración de este factor tiene relación con la calidad del *proceso de comunicación*, o lo que también se denomina *relación vertical* del equipo diseñador. Está constituida por todo intercambio de información entre el equipo diseñador y el equipo constructor *a posteriori* de la elaboración del expediente de proyecto, tales como reuniones, visitas a obra, comunicación por correo electrónico o llamadas por teléfono, memorándums con cambios en las especificaciones técnicas o dibujos con modificaciones de proyecto, entre otros. Proyectos en los cuales el equipo diseñador tenga dificultades de comunicación con obra, no pueda hacer visitas con la regularidad requerida, no estén todos los medios ideales de intercambio de información, la velocidad de respuesta sea baja, existan impedimentos legales, administrativos o técnicos para hacer modificaciones de proyectos a la velocidad de obra, entre otros, son escenarios difíciles para el diseño y que, de no preverse y tomarse las medidas adecuadas, amenazan su grado de constructividad.

Por ejemplo, en un proyecto que deba realizarse en una zona alejada, con dificultades para realizar visitas a obra o que la administración tiene poca experiencia, a fin de aumentar el grado de constructividad, el diseño podría, (1) plantear un proyecto con un alto uso de componentes industrializados y disponibles en el mercado que disminuya la cantidad de faenas en obra, (2) plantear un proyecto con mínima variación de componentes, tareas y soluciones de diseño, (3) proponer un diseño en sucesivas etapas iguales, de manera que el equipo diseñador pueda inspeccionar la primera y sólo sobreinspeccionar las siguientes, (4) plantear un sistema de montaje de partes que impida el montaje incorrecto a través de componentes especialmente diseñados para tal fin, etc.

## b. Coordinación

El grado de constructividad de un diseño está determinado por la coherencia, integración, y complemento entre las distintas especialidades que intervienen en el diseño del proyecto y por la fluidez y calidad de comunicación entre todos los integrantes y especialistas que conforman el equipo diseñador y el equipo de construcción. Diseños con mayores grados de constructividad son aquellos en que las distintas especialidades se integran y complementan más plenamente y se pueden construir con menos interferencias por el equipo constructor.

De forma similar con lo que ocurre con el factor de comunicación, en este factor se puede distinguir entre el *producto de coordinación*, entendido como el grado de coherencia entre los distintos subsistemas y proyectos de especialidades, y el *proceso de coordinación*, entendido como el grado de fluidez de la relación social profesional y de la intensidad y calidad del proceso de intercambio de información al interior de los distintos integrantes del equipo diseñador. La relación entre todos los integrantes al interior del equipo diseñador también se denomina *relación horizontal*.

El principal ámbito de consideración de este factor tiene relación con la calidad del *producto de coordinación*. A igualdad de condiciones, diseños que tienen proyectos de especialidades desarrollados en forma aislada, que tienen objetivos de diseño notablemente diferentes entre especialidades, que tienen vacíos de coordinación que deben resolverse en obra, que requieren de una gran cantidad de especialidades y luego de equipos subcontratistas independientes en obra, o que los proyectos de especialidades se deben desarrollar durante el propio transcurso de obra, tienen menor grado de constructividad.

Un diseño con bajo nivel de coordinación (y por consecuente bajo grado de constructividad) es aquel en el que los distintos proyectos y subproyectos de especialidades, o las distintas fases o etapas de un mismo proyecto guardan poca coherencia en términos espaciales, estructurales, materiales, de secuencia constructiva, funcionales o más ampliamente, cuyos objetivos de diseño y/o requisitos de materialización están reñidos entre ellas. Cuando estas incompatibilidades no son detectadas durante el propio proceso de diseño, sino en obra, generan, en el mejor de los casos, detenciones en la línea productiva, dudas y consultas por parte del equipo constructor y pérdida de eficiencia; y en el peor, colisiones insalvables, cambios improvisados de proyecto, necesidad de trabajos rehechos o, más aún, falla en el cumplimiento de objetivos generales de proyecto.

El uso de herramientas digitales contribuye positivamente en el mejoramiento del nivel de coordinación de los proyectos. Las herramientas informáticas de primera generación son aquellas que permiten organizar los distintos archivos producidos por cada uno de los participantes en una misma plataforma, de manera que la información producida por unos sea visible por otros, que cualquier actualización o cambio sea inmediatamente conocido por todos los demás participantes y

que los archivos existan siempre en su última versión, en una única copia centralizada. En general consisten en bases de datos centralizadas de acceso compartido (*offline u online*) apoyados por software de administración de archivos, tales como detección de archivos o información duplicada, control de actualizaciones, gestores de correo, etc.

La segunda generación de herramientas digitales son aquellas que no solo permiten organizar los distintos archivos producidos independientemente por cada uno de los participantes, sino que permiten a los diseñadores trabajar conjuntamente sobre un mismo archivo, realizando toda la coordinación desde un primer momento. Los sistemas BIM, por definición, intentan concentrar toda la información de los distintos participantes en un solo modelo y evitar toda incoherencia. Sin embargo, su desarrollo es relativamente reciente y por tanto todavía no alcanzan el real potencial de utilidad que se espera de ellos. Problemas en el traspaso de diferentes formatos de información (o interoperabilidad) y limitaciones y faltas de flexibilidad en los software, así como indefiniciones en el modo de trabajo, responsabilidad profesional sobre el modelo o en la administración del modelo son los principales problemas que hoy la industria enfrenta con estos sistemas.

## § 6.3. Principios de la constructividad

---

### *a. Principio de simplificación de tareas de construcción*

101

El principio de simplicidad es el más básico y natural de todos: proyectos que requieran tareas de construcción más sencillas de realizar determinan menor dificultad total de construcción. La especificación de diseños de geometrías sencillas y fáciles de comprender y trasladar al sitio (*i.e.* fáciles de trazar), que requieran menor grado de habilidad de la mano de obra, que necesiten herramientas y equipos de uso habitual, que permitan mayores tolerancias, que utilicen sistemas de montaje simples, que requieran materiales conocidos y fáciles de manipular, entre otros muchos otros ejemplos, son aproximaciones intuitivas al principio de simplificación de tareas de construcción.

Desde el punto de vista analítico propuesto por el MADC, el principio se explica por el primer mecanismo de reducción de dificultad, descrito en § 5.2.1.(1), según la cual la elección de características de diseño que impliquen tareas con menor dificultad unitaria, es decir aquellas cuyos indicadores de dificultad son mayoritariamente de tendencia positiva, disminuye la dificultad total del proyecto.

Por ejemplo, un diseño de un edificio pequeño que por condiciones de carga y resistencia de terreno se requieran fundaciones profundas, anchas y próximas unas a otras define tareas de construcción de alta dificultad unitaria. Este diseño implica excavar dejando remanentes de terreno angostos o inestables: construcción de socialzados y entibaciones son necesarias, es decir mayor cantidad de acciones de construcción. Debido al mayor perímetro lineal de excavación, una mayor superficie de terreno queda inutilizada para transporte de materiales y personal, disminuyendo la accesibilidad interior. Los obreros deben ser más prolijos en una excavación de diseño complejo y quizás la excavación a máquina no pueda ser realizada debido a la proximidad entre una zanja y la siguiente. El retiro de material se hace más difícil, debido al menor espacio de circulación y a la falta de lugar para montar rampas para carretillas. El tiempo de excavación aumenta, al igual que los riesgos de seguridad. En este escenario es muy probable que, en terreno, el constructor decida cambiar el diseño ligeramente y realizar una excavación total hasta el mínimo nivel especificado, eliminando todas estas dificultades adicionales, y luego de hormigonar las fundaciones, rellenar los espacios intermedios —contemplados como “terreno natural” en el diseño original— con material de aporte compactado. Esto, si bien incluye nuevas tareas con nuevas dificultades unitarias (acumular material de aporte, compactar, etc.) es, a fin de cuentas, más simple de construir que el diseño original. Un diseño con alta constructividad y que considere esta situación, podría, siguiendo el principio de simplicidad, contemplar desde el comienzo este diseño más sencillo de construir, e incluso, podría aprovechar el espacio entre fundaciones, en vez de ser rellenado, como espacio útil de diseño, tales como espacio para instalaciones o equipos.

El principio de simplificación es transversalmente referenciado por casi toda la literatura existente (*vid.* § 4), existiendo amplio acuerdo en su importancia fundamental. Prácticamente la totalidad de los autores claman por mayor simplicidad en los diseños como el mecanismo más directo para aumentar la constructividad de los proyectos. Sin embargo, es también unánime la opinión que el mayor problema de aplicación de este principio —aparentemente “obvio” para los constructores (Glavinich, 1995)— es que los equipos diseñadores tienen dificultad para detectar qué es lo que representa una tarea de construcción simple. Por ejemplo, es frecuente que diseños más “simples” sean malentendidos como tradicionales, simplistas, elementales o reduccionistas, y por tanto, poco atractivos para los diseñadores. Se crea una aversión inicial por ignorancia. Sin embargo, Adams (1990) da el ejemplo de *“un cascarón parabolóide hiperbólico de madera, un muro diafragma de ladrillo postensado, un pórtico de celosía triodesica de acero o una balsa flotante [pontón] de hormigón, son conceptos [geometrías] avanzados y heterodoxos y sin embargo, a las empresas constructoras les agrada la simplicidad de su construcción”*. El MADC es una metodología de análisis, que si bien compleja, entrega la posibilidad a los diseñadores de evaluar sus proyectos y determinar qué tan difícil es de construir.

Diseños más simples son aquellos que consideran los recursos y condiciones de construcción y que especifican características que se ajustan a ellas. Por lo mismo, no existen “reglas mágicas” universales sobre qué es un diseño simple. Lo que es un diseño simple en un proyecto definido, puede ser una solución de alta dificultad en otro proyecto, debido a que la mano de obra, el terreno o las condiciones climáticas, por ejemplo, no son las mismas. Por poner un caso, supóngase que se quiere comparar la dificultad de construcción de dos soluciones constructivas para los tabiques divisorios interiores en un edificio de hormigón armado: (1) tabiquería de metal galvanizado y (2) bloques de hormigón celular (para efectos de esta explicación, se asume que las características de desempeño finales según requerimientos de uso y costo son equivalentes o despreciables, a fin de hacer un análisis estrictamente centrado en la dificultad de construcción, y por tanto, constructividad de ambos diseños). De acuerdo a la metodología de análisis de dificultad propuesta por el MADC, primero, se procede a identificar cuales son las tareas de construcción necesarias requeridas para la realización de cada una de las soluciones, tanto aquellas tareas particulares a cada solución (*e.g.* dimensionado y corte de perfiles, ensamble con remaches u otro tipo de fijación metálica, colocación de aislación y colocación de revestimientos, entre otras, para el caso de la tabiquería, o preparación de mezcla adhesiva, tendido de hiladas, colocación de conectores metálicos y relleno de espacios de encuentro con elementos estructurales con poliuretano u otro agente elástico, en otras, para el caso del hormigón celular) como las que son comunes a ambas soluciones (*e.g.* transporte y almacenamiento de material, trazado, terminación final, colocación de instalaciones si corresponden, etc). A continuación, se debe identificar en cada tarea los 6 componentes básicos, y determinar cuales son los indicadores de dificultad relevantes para cada uno. Es aquí donde las condiciones particulares de trabajo comienzan a definir el resultado. Por ejemplo, para el componente sujetos, es

más difícil encontrar mano de obra especializada en albañilería de hormigón celular —un sistema constructivo relativamente nuevo en Chile—, que para la tabiquería en metal —un sistema constructivo de principios similares a la madera—. Si el proyecto está en una zona de limitada mano de obra, este componente es altamente relevante para la ponderación de dificultad. Para el componente de contexto, la albañilería es un sistema constructivo húmedo, mientras que la tabiquería es en seco. Si el proyecto está en un contexto con condiciones climáticas extremas, con tiempo ajustado o incluso con limitado acceso a agua limpia, entonces esta condición se vuelve relevante.

Este principio, aunque simple de comprensión, es de relativa difícil aplicación, debido a que es, por definición, integrado y ponderado. Es integrado porque cada decisión de diseño repercute siempre sobre distintos factores, por lo que no se puede aplicar el principio de simplicidad para un factor sin tener en cuenta los demás. Es ponderado, porque cada factor tiene un impacto relativo en la dificultad de la tarea, dependiendo de las circunstancias propias del proyecto. Ante esto, el MADC presenta una alternativa para realizar el análisis y poder evaluar el impacto de la aplicación del principio. Por ejemplo, la modulación es una técnica común para simplificar las tareas de construcción. Cuando los diseños están modulados de acuerdo a las dimensiones de los materiales, en obra las acciones se simplifican, por ejemplo, porque se deben hacer menos cortes, porque las medidas de cortes son constantes, porque todos los elementos son iguales y no existe riesgo de equivocación de instalación de pieza equivocada, entre otros. Pero, supóngase un cielo falso en el que se tiene la opción de (1) modular los cortes en la estructura de madera de acuerdo a las dimensiones de las planchas o (2) modular los cortes de planchas de acuerdo a las dimensiones de la madera. Asumiendo equivalencia de desempeño para este ejemplo, (e.g. capacidad estructural o capacidad de recibir instalaciones, etc.), la aplicación del principio de simplicidad obliga a analizar ambas tareas y, en forma integrada, ponderar cual tiene mayor impacto sobre la dificultad unitaria. Luego de analizar cada uno de los 6 componentes en ambos escenarios, se puede concluir que, en un contexto tradicional, los cortes en las planchas de yeso-cartón, en comparación con los cortes en madera, requieren herramientas más complejas, mayor precisión en la acción de corte, mayor tiempo de ejecución, son de mayor fragilidad, mayor costo por equivocación, obliga a tareas secundarias (i.e. juntas), existen mayores riesgos de afecciones secundarias (i.e. humedad), entre otras razones, por lo que la optimización integrada y ponderada de dificultad unitaria es mayor. Conclusión: modular la estructura de madera de acuerdo a las dimensiones del yeso-cartón genera una tarea de construcción más simple.

### *b. Principio de reducción de tareas de construcción*

El principio de reducción de tareas es la segunda manera intuitiva de reducir dificultad de construcción desde el diseño. La especificación de diseños prefabricados (en todas sus posibilidades: abierta o cerrada, en terreno o en industria, etc.), que especifiquen materiales discretos y continuos, que privilegien productos industriales pre-terminados, que mantengan una modulación coherente, que disminuyan la necesidad de tareas secundarias o auxiliares, que definan detalles y soluciones de diseño más simples, entre otros muchos otros ejemplos, son aproximaciones intuitivas al principio de simplificación de tareas de construcción.

Desde el punto de vista analítico propuesto por el MADC, el principio se explica por el segundo mecanismo de reducción de dificultad, descrito en § 5.2.1.(2), según la cual la elección de características de diseño que impliquen menos tareas de construcción disminuye la dificultad total del proyecto. En palabras más simples, consiste en preferir aquellos diseños que se construyen con una menor cantidad de tareas de construcción, o visto de otra manera, optimizar los diseños para eliminar pasos, etapas y tareas de construcción en obra.

Este principio es sumamente importante porque es el principal argumento analítico que explica la promoción de industrialización y prefabricación como estrategia de diseño para aumentar la constructividad. Por ejemplo, un proyecto que deba ser construido en un terreno rural con poca accesibilidad a recursos productivos, de difícil topografía e inestable condición de suelo, con clima agreste y dificultades de comunicación, prácticamente todas las tareas tienen alta dificultad unitaria. A fin de aumentar su grado de constructividad, un diseño podría tratar de eliminar la mayor cantidad de tareas de construcción en terreno, y sustituirlas por tareas desarrolladas en un ambiente que cuente con indicadores favorables a los factores negativos. El proyecto podría ser prefabricado en casi su totalidad en industria y luego transportado al sitio, donde las tareas se reducen exclusivamente a montaje. Menor cantidad de tareas con menor dificultad unitaria: mayor constructividad.

Prefabricación e industrialización son dos términos diferentes, pero usualmente confundidos. La industrialización es el proceso productivo seriado que utiliza métodos, sistemas y técnicas racionalizadas, optimizadas, con intenso uso de tecnología y altamente controlables para la elaboración de productos homogéneos, de calidad uniforme y de estándares de desempeño certificados. La prefabricación, en cambio, consiste en el proceso productivo en el cual tareas específicas de una obra de construcción son parcialmente desarrolladas fuera del sitio definitivo. Por ejemplo, las puertas son tradicionalmente un producto que se compra terminado a un proveedor, de dimensiones y características de desempeños conocidas y seriadas, que es fabricado en una planta industrial con procesos tecnológicos racionalizados y eficientes. La puerta es un producto industrializado; el diseño del edificio debe adaptarse a ella. En cambio, un proyecto de construcción de una iglesia en la cual la cúpula metálica del campanario sea fabricada en una industria y luego

trasladada y montada en la torre, representa un ejemplo de prefabricación. En este caso, la cúpula se realiza específica y únicamente para ese proyecto y su (pre)fabricación respeta el diseño original. Industrialización y prefabricación representan dos aproximaciones distintas al mejoramiento de constructividad que operan bajo la lógica del principio de reducción de tareas de construcción. Tanto la utilización del *kit* de puerta, como la prefabricación de la cúpula en un lugar distinto al tope del campanario permiten eliminar tareas en obra.

La industrialización y prefabricación como mecanismos de mejora de constructividad actúan tanto de manera directa como indirecta. Los proyectos con alto número de elementos y componentes industrializados, o proyectos en que parcial o totalmente tengan partes prefabricadas trasladan un número de tareas necesarias fuera de su sitio de construcción a uno distinto sin la afección de los problemas propios del terreno. Pero estas estrategias de diseño también actúan de manera indirecta. Los componentes industrializados y/o prefabricados no sólo reducen la cantidad de tareas en obra, sino que además aprovechan las ventajas comparativas que existen en entornos de producción controlados, con mayores y mejores recursos productivos. No sólo se eliminan los problemas del terreno, sino además se agregan las cualidades positivas de un entorno especialmente preparado para la producción. Por ejemplo, la construcción de ventanales compuestos, aquellos que además del cristal integran capas de celosías, aislación térmica y/o acústica o dispositivos de control térmico, por nombrar algunos, representan faenas extremadamente complejas de realizar en obra. Precisión y pulcritud son necesarias a un nivel que raramente se consigue en obras tradicionales. Más aún, cuando las fachadas son complejas geométricamente (e.g. vanos irregulares), cuando las faenas previas son de baja confiabilidad (e.g. exactitud en dimensiones de obra gruesa), o cuando los materiales son de naturaleza inestables (e.g. madera), la baja constructividad puede amenazar directamente la calidad esperada del proyecto. Soluciones de ventanas industrializadas eliminan todas estas faenas complejas del terreno, pero además permiten agregar otras que serían imposibles en obra, como tratamientos químicos, sellos al vacío y control de calidad instrumental.

La eliminación de tareas de construcción debido a prefabricación e industrialización existe en varios niveles: se reducen tanto las primarias como las secundarias. En obras prefabricadas menor cantidad de acciones auxiliares son necesarias (e.g. construcción de moldajes, andamios, almacenamiento de materiales, limpieza, instalación de dispositivos de seguridad para el desempeño de tareas, etc.), lo que refuerza en forma doble el principio de reducción de tareas. Es más, en general una manera fácil y rápida para conocer el grado de prefabricación de un proyecto es examinar la cantidad de residuos generados en la obra: a mayor cantidad de escombros, menor prefabricación.

El principio de reducción de tareas no sólo se materializa en las estrategias de utilización de componentes industrializados o prefabricación de partes. Son las principales, pero no las únicas. La simplificación de detalles o de procesos constructivos por reducción de partes también representa aplicaciones efectivas de este principio. Por ejemplo, la utilización de paneles de madera

contrachapada en los tabiques de madera aserrada como elemento estructural arriostrante, frente a la solución tradicional basada en el uso de diagonales, elimina las acciones de medición, corte, clavado y ajuste de diagonales, reducción y encastre de pies derechos y encamisado posterior del tabique para recibimiento de terminación. La tarea de confección de diagonales y sus varias acciones asociadas se sustituyen por el solo clavado de placa arriostrante. Siguiendo el mismo contexto de diseño en madera, el uso de conectores metálicos en sustitución de ensambles y encastres entre piezas de madera (e.g. en confección de cerchas o en la unión de piezas en ángulo) reduce notablemente la cantidad de acciones de corte y ajuste. Un caso ejemplar es la unión entre vigas doble T con alma de placa contrachapada: rebajes de ala, confección de tacos de relleno para la zona de nudo, ensambles y fijación pueden ser eliminados y simplemente sustituidos por el uso de conectores. Otro caso lo constituyen los entresijos de madera y la necesidad de tender redes de instalaciones eléctricas o sanitarias. Típicamente, cuando los diámetros de los ductos son pequeños, una estrategia es sobredimensionar las vigas en un par de centímetros (la altura del ducto) y luego realizar cortes en la cara media de cada viga para el paso de la instalación, sin afectar su capacidad estructural. Una solución que respeta el mismo principio estructural, pero que aumenta la constructividad del detalle por reducción de las acciones de corte (que son de naturaleza compleja dado que deben ser exactos y alineados) es, por ejemplo, el uso de vigas dimensionadas estructuralmente y luego el clavado de listones entre ductos para alcanzar el nivel de piso. En el caso de ductos de mayor tamaño, usualmente el detalle consiste en perforar las cadenas en la fibra neutra, lo que también resulta complejo debido a la imperiosa necesidad de alineación exacta entre ellas. Un sencillo cambio en el diseño como la utilización de cruces de San Andrés en vez de cadenas sólidas permite eliminar la acción de perforación y reducir considerablemente la dificultad del detalle. En todos estos casos la constructividad del proyecto aumenta gracias a la reducción de tareas de construcción implícita en la simplificación del detalle constructivo, y no por aplicación de estrategias de prefabricación.

### *c. Principio de reducción de variabilidad de tareas de construcción*

El principio de reducción de variabilidad de tareas es el tercer mecanismo de reducción de dificultad de construcción desde el diseño. La especificación de diseños con componentes estandarizados, la repetición de un mismo detalle constructivo o especificación de “familias” de detalles que compartan características comunes, el uso de componentes similares, la modulación geométrica y constructiva de los espacios y componentes, el uso de soluciones de diseño que se adapten a los productos disponibles en el mercado o la reducción de tipos de materiales, componentes y elementos dentro de obra, entre otros muchos otros ejemplos, son aproximaciones intuitivas al principio de reducción de variabilidad de tareas de construcción.

Desde el punto de vista analítico propuesto por el MADC, el principio se explica por el tercer mecanismo de reducción de dificultad, descrito en § 5.2.1.(3), según la cual la repetición de características de diseño idénticas o similares disminuye la dificultad total del proyecto, aceptando el paradigma de la curva de aprendizaje. En palabras más simples, consiste en preferir aquellos diseños cuyas tareas de construcción necesarias son similares, repetitivas y con menos variabilidad.

Si el principio de reducción de tareas propone eliminar todas aquellas tareas que son prescindibles y luego el principio de simplificación de tareas propone concentrarse en aquellas con menor dificultad unitaria; el principio de reducción de variabilidad propone repetirlas lo máximo posible en el proyecto a fin de tener el menor número de tareas diferentes posibles.

Por ejemplo, un proyecto de pequeño tamaño en albañilería confinada, la elaboración de armaduras para pilares y cadenas, así como los moldajes e incluso la preparación del hormigón probablemente serán realizadas a pie de obra por el equipo de obreros, utilizando métodos manuales y herramientas básicas. A fin de aumentar el nivel de constructividad del proyecto, el diseño podría estandarizar las secciones de elementos de hormigón armado a fin de reutilizar los moldajes el máximo posible y mantener consistencia en un tipo (dosificación) de hormigón, a fin de evitar posibles equívocos o contaminación del material. Las armaduras podrían ser idénticas en todas las vigas, cadenas y pilares respectivamente, con sólo dos dimensiones de fierros (principales y estribos) a pesar de la ineficiencia estructural que esto puede significar. De esta manera, los enfierradores, por ejemplo, pueden construir mesas con guías para la elaboración de estribos sin temor a equivocarse, y optimizar el tiempo realizando una tarea repetitiva.

Este principio se fundamenta en el paradigma de la curva de aprendizaje, según la cual, las organizaciones y las personas mejoran crecientemente su desempeño a medida que más tiempo invierten desarrollando la misma actividad. Esto se da tanto a nivel personal, dado como aprendizaje propio, como a nivel corporativo, en términos de aprendizaje organizacional y optimización de los recursos. Siguiendo el ejemplo anterior, los enfierradores mejorarán en calidad y velocidad de

desempeño progresivamente a medida que deban continuamente repetir el mismo diseño de armaduras, y dado que las tareas se mantienen invariables, requerirán menos supervisión durante el resto de la faena. Las dimensiones, diámetros, ángulos y geometrías son las mismas: no sólo el maestro se las aprende sino que resulta más fácil detectar un error por simple comparación. El maestro puede construir guías y plantillas, y dado que son tareas repetitivas, los ayudantes pueden confeccionar enfierraduras con la simple supervisión del maestro. Igual situación ocurre con los moldajes, hormigonado e incluso faenas como el vibrado. Los concreteros al cabo de dos o tres iteraciones ya habrán descubierto cuales son los nudos más complejos de vibrar y habrán desarrollado una técnica especial para ellos. En términos corporativos, la administración de la obra puede utilizar mejores herramientas y materiales, dado que su repetición amortiza el costo. Se optimiza el uso de la capacidad instalada y la inspección técnica se hace más eficiente, pues se puede recurrir a sistemas de control de gestión repetitivos. En general, la obra se hace más fácil de construir.

Este principio existe más o menos diluido en la literatura referenciado en diversas formas: “estandarización, modularización, repetición, normalización, unificación”, son conceptos que comparten este mismo principio como base, aunque no en forma exactamente igual. Como estrategias de mejora de la constructividad, son todas válidas.

La estandarización o normalización son dos conceptos que se refieren a lo mismo: la definición y utilización de normas o estándares que delimiten las características o condiciones de realización de un producto o proceso en un contexto determinado. Estandarizar en arquitectura significa definir con alta precisión las características de un cierto componente, subcomponente o proceso constructivo y utilizarlo con intensidad en el proyecto, a fin de homogeneizar y tener mayor control sobre el producto final. La estandarización es una estrategia de mejoramiento de constructividad que se fundamenta en el principio de reducción de variabilidad. A mayor cantidad de características de diseño que respeten un mismo estándar o norma, menor variabilidad en la tarea de construcción asociada. Por ejemplo, si en un proyecto se define un estándar general para revestimiento de muro según programa, independiente de las condiciones de ubicación o geometría de cada recinto, en obra las tareas de terminación se reducen a una gama conocida y las tareas específicas derivadas de las particularidades de cada recinto se eliminan.

La estandarización en arquitectura puede ser interna o con apego a normas definidas específicamente para un proyecto en particular, o externa, con apego a normas definidas por la industria en general. Por ejemplo, en un proyecto industrial que contemple varios galpones metálicos, la estandarización interna podría definir una norma para el diseño de cerchas metálicas basado en los materiales disponibles y en las condiciones de transporte. En cambio, si fuera estandarizado externamente, el diseño debería respetar alguna norma ya existente en la industria para el diseño de cerchas. Ambos enfoques son igualmente válidos: mientras en la primera opción la optimización de

recursos es mayor, se requieren mayores iteraciones constructivas para que el equipo constructor adquiera la pericia en ese diseño en particular. En el segundo caso, mientras el diseño puede no ser el más óptimo, el diseño es conocido por los fabricantes, quienes probablemente incluso ya tienen experiencia previa. Dependiendo de las condiciones del proyecto, de las características del equipo constructor, del tiempo disponible, del grado de comunicación (de los factores de constructividad, en realidad), una u otra opción puede ser preferible.

La modularización se refiere a la definición y repetición de una misma unidad, denominada *módulo*, en la construcción o elaboración de una totalidad mayor. En arquitectura, la modularización puede tener dos vertientes de significado: (1) el módulo representa una dimensión geométrica, que se toma como unidad de medida y sirve de base compositiva a través de su simple repetición o combinación con variantes proporcionales; (2) el módulo representa un elemento o conjunto de elementos constructivos, de carácter unitario, que se repite y articula con otros módulos equivalentes en la construcción de un proyecto. En ambos sentidos, el concepto esencial es la repetición de un mismo elemento previamente definido, sea de tipo geométrico o constructivo, que finalmente ocasiona que las tareas de construcción en obra sean también idénticas y repetitivas. Por ejemplo, el diseño de la partición interior de un piso para oficinas es típicamente un ejemplo del uso de modularización geométrica como estrategia de mejoramiento de constructividad. Estos recintos requieren una gran densidad de tabiques, puntos de iluminación, centros eléctricos, instalaciones de aire, tendido de redes y mueblería, que en un diseño libre, ocasionaría cientos sino miles de colisiones, encuentros indeseados y descoordinación de elementos que llevaría a una inusitada cantidad de acciones constructivas de cortes, ajustes, extensiones, desviaciones y correcciones, multiplicando por varias veces la complejidad, duración y costo de construcción. La falta de coordinación sería la regla y no la excepción. Respecto a la segunda estrategia de mejoramiento de constructividad, el uso de módulos constructivos, esta usualmente se da por prefabricación, es decir, aquella que forma unidades físicamente y funcionalmente independientes, bi o tridimensionales, que se fabrican en una planta y luego se traslada al sitio de obra donde se montan y articulan con otros módulos. Campamentos industriales u hospitales de emergencia son ejemplos de construcción modular prefabricada. Sin embargo, no es el único caso. En un proyecto educacional, todas las salas de clases son muy similares, por lo que perfectamente podrían normalizarse y constituirse en un módulo de diseño, con todas sus características idénticas. En obra, los equipos constructores tendrían que construir cierta cantidad de módulos de salas de clases *in situ*, con todos los beneficios de la repetición, pero sin un solo centímetro de construcción prefabricada.

#### d. Principio de flexibilidad de elección de tareas de construcción

El principio de flexibilidad de elección de tareas de construcción es el menos intuitivo de todos; e incluso, es hasta cierto punto contra-intuitivo, especialmente en un contexto de formación de diseñadores como controladores absolutos de todo el proceso de producción de edificios. Según este principio, proyectos en los cuales la determinación de las tareas de construcción es flexible para el constructor —entre una cierta gama de posibilidades que con diferentes procesos constructivos obtienen los mismos resultados de diseño— tienen mayor grado de constructividad. El principio de flexibilidad no significa diseñar sin definir las tareas de construcción; significa privilegiar aquellos diseños que tienen más de una manera de construirse.

Desde el punto de vista analítico propuesto por el MADC, el principio se explica por el cuarto mecanismo de reducción de dificultad, descrito en § 5.2.1.(4), según la cual la elección de características de diseño que permitan mayor cantidad de posibilidades para el constructor de elección de tareas de construcción para obtener un mismo resultado final, implican finalmente una menor dificultad de construcción, dado que el constructor por definición optimizará la opción que tenga menor dificultad unitaria, *ceteris paribus*. Este mecanismo y consecuente principio de construcción se basa en la presunción de conocimiento experto.

La presunción del conocimiento experto reconoce que el conocimiento específico sobre procesos de construcción es propio del constructor, no de los diseñadores. A partir de esto, se asume que las decisiones específicas en estas materias son, por definición, más óptimas cuando son tomadas por los constructores. Por su propia naturaleza, los constructores privilegiarán el mejor y eficiente desarrollo de la obra, anteponiendo estas preocupaciones por sobre otras, como por ejemplo, la calidad arquitectónica de un edificio (*vid. § 1.1.2.a.*). Por supuesto, es imposible asegurar que esto sea así siempre, pero se presume que es el criterio general. Basado en esta presunción, el principio de flexibilidad de elección privilegia aquellas características de diseño que, salvaguardando el mismo resultado final —y esto es clave—, permiten que la elección de tareas de construcción necesarias sea tomada por el constructor. En otras palabras, el principio de flexibilidad de elección de tareas de construcción clama para que los diseñadores hagan dos cosas: (1) aumentar aquellas características de diseño que pueden ser construidas de varias maneras posibles y (2) dejar que la elección final sea tomada por el constructor.

Por ejemplo, en un proyecto de vivienda panelizada en madera, el lugar donde se fabriquen los paneles es indiferente al resultado final. Entre otras opciones, se podría: (1) (pre)fabricar los paneles en una planta industrial con ambiente altamente controlado y trasladarlos a obra; (2) prefabricar los paneles en el terreno, en una planta cercana a pie de obra con ambiente semi controlado y luego moverlos al punto exacto de montaje; o (3) fabricar los paneles exactamente en su posición final a través de un procedimiento constructivo clásico. Si en todos los escenarios los paneles son fabricados

cumpliendo exactamente los requisitos de diseño y con los mismos estándares de calidad (*i.e.* materiales, geometría, tolerancias, etc.), la decisión final de dónde fabricarlos depende de las condiciones y recursos de construcción específicos del proyecto, más que del diseño mismo o resultado final. Por ejemplo, la opción de prefabricación industrializada permite mayor grado de control sobre los procesos y mayor eficiencia en la producción seriada, pero requiere infraestructura especial (*i.e.* espacio para la fabricación, almacenamiento de materiales y paneles, etc), y condiciones propicias para el traslado (*i.e.* buenas vías de accesibilidad, recursos para la carga y descarga, transporte adecuado, etc.). En el otro extremo, la opción de fabricación en su posición final evita el traslado, reduce el espacio de almacenamiento y elimina la necesidad de infraestructura para prefabricación; pero requiere mayor supervisión y control para el aseguramiento de calidad, lo que aumenta el riesgo de demoras y retrasos. El constructor seleccionará la opción que mejor se ajuste a su disponibilidad de recursos y condiciones de obra: probablemente si el proyecto corresponde a una zona de mal clima donde el tiempo de construcción al aire libre debe reducirse al mínimo y, el constructor optará por la prefabricación en industria; si las condiciones de accesibilidad al terreno para vehículos grandes son complejas pero el terreno mismo tiene mucho espacio disponible, el constructor optará por prefabricación a pie de obra; o si no existen instalaciones industriales disponibles y la mano de obra calificada para supervisión es abundante, el constructor optará por la opción de fabricación tradicional. La oportunidad de elegir es lo que hace que la decisión se optimice y la dificultad de construcción disminuya. Desde el punto de vista del diseño, la constructividad se aumenta al especificar un panel que pueda ser fabricado en los tres escenarios y que no tenga características específicas que obliguen a optar por una u otra opción.

El principio de flexibilidad de elección de tareas de construcción exige a los diseñadores a renunciar al control total del proyecto, lo que, aunque sensato, es todavía discutido en ciertos sectores. El arquitecto ya no es el *architekton* de la antigüedad o *master maçon* del Medioevo que controlaba desde la elección de muebles y tapices hasta la dirección de los obreros. En la industria actual, los constructores pueden tomar mejores decisiones sobre los procesos de construcción, y la esencia de este principio es darles aquel poder tanto como sea posible, sin sacrificar las características del producto final. El principio de flexibilidad reconoce que los arquitectos son los guardianes del producto final y su desempeño (*vid.* § 1.1.2.a.), pero les demanda que sean flexibles en las demás decisiones.

Una probable fuente de confusión del principio de flexibilización está en su malinterpretación como una suerte de principio de indefinición de tareas por parte del diseño. “*Este es el diseño y luego verá el constructor como lo construye*”, aludiendo principio de flexibilización es una muy alejada, equivocada y negativa interpretación. La indefinición de tareas y traspaso de toda la responsabilidad al constructor cae en el equívoco de la división de tareas sin integración. Indefinición significa diseñar sin tomar en cuenta la realidad del proceso constructivo, sin considerar los factores de

construcción y eso es justamente lo que la constructividad trata de evitar. El principio de flexibilidad exige al diseñador ser totalmente consciente y comprometido con los procesos de construcción de sus obras, al punto de ser capaz de definir opciones, y dentro de esas opciones, dar al constructor la posibilidad de optar por la más eficiente según su propio criterio.

El principio de flexibilización de elección de tareas de construcción puede ser aplicado en todas las etapas de desarrollo de proyecto con diferente énfasis y nivel de detalle, y con o sin la participación directa del equipo constructor. En un escenario ideal, el principio se aplica en un contexto gradual y participativo. Por ejemplo, en una primera etapa de diseño el proyecto podría oscilar entre utilizar prefabricación como estrategia principal o no. El equipo constructor es requerido para decidir que opción es más eficiente para el diseño propuesto, considerando los recursos de construcciones disponibles. El equipo diseñador continuaría desarrollando el proyecto y llegado cierto punto de avance, nuevamente se encontraría frente a un diseño que permite diferentes posibilidades de construcción. Otra vez, el equipo constructor es requerido para decidir, esta vez, el largo de las vigas principales: ¿vigas más largas y unitarias, pero más difíciles de trasladar, o vigas más cortas y fáciles de mover, pero con más uniones en obra? Esta dinámica de participación requiere una interacción continua y constante entre un equipo diseñador propositivo de muchas opciones y un equipo constructor analítico y resolutivo. Sin embargo, como es obvio, no siempre es posible. En una innumerable cantidad de contextos profesionales, los equipos diseñadores deben desarrollar los proyectos en forma aislada o con muy baja participación de profesionales de obra. Es precisamente en este contexto menos favorable, cuando el principio de flexibilidad se hace aún más crítico. Es tendencia general entre los diseñadores enfrentados a estos encargos la definición absoluta de todos y cada uno de los más mínimos detalles de proyecto, incluyendo la definición de tareas de construcción. A mayor definición, menos incertidumbre y por tanto mayor control sobre el resultado final. No obstante, el precio que se paga es la falta de optimización potencial debido a falta del conocimiento experto de construcción. Aplicando el principio de flexibilidad, más opciones de realización pueden plantearse respondiendo al mismo producto final —lo que no es sinónimo de indefinición, como hemos visto—, lo que permitiría al equipo constructor decidir y facilitar el desarrollo de obra. Incluso en contextos donde tradicionalmente se exige la mayor definición posible, por ejemplo, en proyectos cuya construcción será licitada públicamente, la aplicación del principio de flexibilidad acarrearía mayor eficiencia. Si un proyecto licitado planteara diferentes opciones de construcción, cada equipo postulante podría elegir la más conveniente según sus propios recursos, experiencia y conocimiento, disminuir la dificultad de construcción y consecuentemente los costos. Una licitación así sería incluso más efectiva.

## § 6.4. Ejemplos de pautas y reglas de constructividad

---

### § 6.4.1. Pautas de constructividad

113

Las pautas de constructividad son recomendaciones de diseño que a diferencia de los factores y los principios, son específicas a un contexto determinado, y por lo tanto sólo son aplicables a los problemas de diseño que comparten las mismas condiciones. Por ende, no se pueden generalizar ni menos enumerar en una lista como ocurre con los dos primeros formatos de formalización de constructividad. Existe una infinita cantidad de pautas, al menos tantos como proyectos y contextos de trabajo. No obstante, no cualquier “estrategia” o recomendación más detallada que un principio representa una pauta de constructividad. Para que pueda ser reconocida como tal es necesario que primero cumpla, al menos con 6 condiciones importantes de forma y fondo:

- (1) La primera condición es que el contenido principal de una pauta de constructividad sea una decisión de diseño, directamente. Esto es sustancialmente diferente a los formatos anteriores. Un factor se refiere a un aspecto de construcción a considerar durante el diseño y un principio se refiere a una tendencia o idea general que se puede aplicar durante la toma de decisiones. Una pauta se refiere a la decisión de diseño en sí, sin análisis o elaboración previa necesaria.
- (2) La segunda condición es que la pauta se refiera a “una” decisión de diseño, puntualmente; no a “varias” decisiones de diseño, “cualquier” decisión de diseño o a “toda” decisión de diseño. Las pautas, lejos de ser universales, son específicas, precisas, sin posibilidad de generalización o transferencia. Factores y principios son, en cambio, de aplicación global y válidos en la gran mayoría de las situaciones de proyecto.
- (3) La tercera condición es que la pauta señale concretamente una dirección específica hacia dónde orientar la decisión de diseño, sin mayor interpretación que la contextualización del problema. Es, por definición, una aplicación práctica. La pauta es prescriptiva directa, explícita en cuanto a indicar la dirección de la decisión.
- (4) La cuarta condición es que la pauta tenga un contexto de aplicación definido y claramente determinado. Dada su especificidad, sólo se pueden seguir en problemas de diseño determinados. En caso contrario, se convierten en estrategias que no se sabe cuando utilizar.
- (5) La quinta condición es que la pauta sea ejecutable, observable y medible. Para cada pauta debe ser posible identificar uno o más indicadores cuantitativos o cualitativos que permitan evaluar su aplicación, cumplimiento y resultado.
- (6) La pauta debe señalar la razón o explicación de la orientación recomendada, a fin de que sea posible de evaluar por el diseñador en el contexto o problema de diseño. Por definición, la explicación hará referencia a un factor o principio de constructividad aplicado en el contexto específico.

A continuación se entregan cuatro ejemplos de pautas de constructividad, derivados de recomendaciones comunes que se pueden encontrar en la literatura técnica relacionada (Adams, 1990; Ferguson, 1999), pero que han sido adaptados a los criterios anteriores de forma y fondo:

*Ejemplo 1: “En terrenos congestionadas, de poco espacio libre, o complejos en su forma, dividir el proyecto en fases con independencia constructiva para facilitar los acopios de materiales, transporte de personal, aumentar espacio de trabajo y, en general, aumentar la accesibilidad interna.”*

- (1) Se refiere a la decisión de división del proyecto en partes independientes.
- (2) Es específico en cuanto a la segmentación constructiva. Por ejemplo, no se refiere a autonomía volumétrica, expresiva o de otro tipo.
- (3) Señala la división del diseño como tendencia correcta.
- (4) Es aplicable en contextos con terrenos congestionados o complicados.
- (5) Indicadores posibles: cantidad de espacio libre y vías de acceso despejadas que se crean en cada fase.
- (6) El objetivo es aumentar la accesibilidad interna y facilitar los acopios de materiales.

*Ejemplo 2: “En suelos peligrosos, inestables, de baja calidad o húmedos, disminuir la proporción de volumen bajo cota cero para disminuir la necesidad de tareas auxiliares o de seguridad en la fase de excavaciones”.*

- (1) Refiere a la decisión de diseño de volumen bajo cota cero.
- (2) Es específico en cuanto a la proporción de volumen. No se refiere a tipo de sistema estructura y fundaciones asociadas.
- (4) En contextos de suelos peligrosos, inestables, de baja calidad o húmedos.
- (5) Indicadores posibles: proporción de volumen bajo cota, excavaciones necesarias.
- (5) El objetivo es reducir las excavaciones (peligrosas) y sus tareas auxiliares relacionadas.

*Ejemplo 3: “En climas húmedos, con vientos o precipitaciones, plantear una envolvente independiente que pueda ser instalada lo más prematuramente posible a fin de lograr un pronto cerramiento en obra que dé control y estabilidad al ambiente de trabajo”.*

- (1) Refiere a la decisión de diseño del tipo de envolvente y su sistema constructivo.
- (2) Es específico en cuanto al sistema de instalación de la envolvente.
- (4) En climas húmedos, con vientos o precipitaciones.
- (5) Indicadores posibles: número de días para el cerramiento de obra, o proporción de fachada que puede ser cerrada a una cierta fecha.
- (5) El objetivo es tener un ambiente de trabajo controlado, libre de afecciones climáticas.

## § 6.4.2. Reglas de constructividad

Las reglas son indicaciones concretas que restringen directa y explícitamente una decisión de diseño, de la manera más específica posible, incluso en términos cuantitativos. Sólo son aplicables a los problemas de diseño con las mismas condiciones exactas en que fueron definidas, por lo que son altamente variables incluso dentro de un mismo proyecto o equipo.

115

Formalmente, las reglas representan una versión más específica y detallada de una pauta, por lo que en términos generales comparten sus mismos criterios de estructura. La principal diferencia que una regla debe dejar muy poco o nulo espacio para evaluación o interpretación por del diseñador. Literalmente, es una regla.

Dada su alta especificidad, las reglas son poco comunes en el trabajo ordinario de diseño y arquitectura. Sólo aparecen para regular aspectos puntuales dentro de grupos de trabajo o de práctica, como oficinas de arquitectura o equipos de diseño-constructor. Usualmente normalizan aspectos específicos aislados, como optimizaciones de diseño aprendidas de experiencias exitosas anteriores, o restricciones puntuales dadas por las características especiales de un grupo específico de trabajo. Por ejemplo, dentro de una empresa inmobiliaria la división de arquitectura podría normalizar su diseño de barandas metálicas para balcones en su forma y materiales siguiendo las recomendaciones de facilidad de soldadura en obra dadas por la división de construcción.

Las reglas de constructividad son tradicionales en el campo del diseño de ingeniería más que el arquitectónico. Por ejemplo, las reglas usuales de distancias mínimas entre enfierraduras obedecen no sólo a consideraciones estructurales, sino además a los requisitos dimensionales de las sondas vibratoras del hormigón.

# Resumen esquemático

---

116

## PRIMERA PARTE: ANTECEDENTES GENERALES

### 1. El concepto de constructividad

#### 1.1. Origen del concepto de constructividad

##### 1.1.1. Panorama histórico de la relación diseño-construcción

- Desde la antigüedad y hasta el Medioevo, todas las tareas necesarias para la construcción de un edificio, desde el diseño hasta la dirección de las obras, se fundían en una misma persona: el architekton, y posteriormente, master maçon.
- La primera revolución ocurrió en el Renacimiento, cuando por primera vez se separaron las tareas de diseñar y construir.
- La segunda revolución ocurrió en la Revolución Industrial con el surgimiento de la ingeniería moderna y una definitiva separación y especialización de actividades.
- En la actualidad, las tareas de diseñar, calcular, construir e incluso coordinar se encuentran totalmente separadas, y la tendencia aparente es una progresiva, creciente y mayor especialización.

##### 1.1.2. Características de la industria de la construcción actual

###### a. Especialización de actividades

- Ocasiona dos tipos de problemas: (1) los objetivos de las distintas especialidades son esencialmente diferentes y semicompetitivos y (2) los límites de acción y alcance de las distintas especialidades no están complementemente definidos.

*b. Métodos contractuales de construcción*

- Sistemas contractuales no integrados (i.e. por licitación o subcontratación) impide al diseñador conocer e integrar las características propias del trabajo del constructor
- La Inspección Técnica de Obra (ITO) externa, tradicionalmente responsabilidad del arquitecto, desliza parcialmente a los diseñadores del aprendizaje en obra.
- La presión por tiempo implica que (1) el tiempo de estudio y desarrollo se reduce al mínimo y (2) las obras se comienzan a construir antes que el diseño esté terminado.

*c. Complejidad técnica de las tecnologías de construcción*

- Es cada vez mayor, lo que impide al arquitecto conocer todas las tecnologías. Debe concentrarse en aquel conocimiento que efectivamente impactará el diseño.

*d. Competencia por productividad*

- La industria exige al diseño cada vez mayor calidad y productividad tanto en el producto final, como en el proceso de construcción (rápido, fácil, económico, seguro)

1.1.3. Surgimiento del concepto de constructividad

- Nace en Inglaterra en la década de los 80 después de una serie de estudios que señalaron la fragmentación de la industria y la falta de conocimiento constructivo de los diseñadores como causas de pérdida de productividad en construcción.
- Se definía como “la manera en la cual el diseño de un edificio facilita su construcción”. El enfoque estaba en el diseño y el trabajo de los diseñadores.
- Más tarde en EEUU se acuñó el término “constructabilidad”, bastante similar, pero con un enfoque que incluía todas las etapas de proyecto y más centrado en la gestión.
- A partir de entonces diversos investigadores han estudiado el tema, usando ambos conceptos en forma intercambiada y siempre dentro del campo de la ingeniería.

1.2. Definición del concepto de constructividad

1.2.1. Constructividad como atributo del diseño

- Definición: “Grado en el cual un diseño permite una mayor facilidad y eficiencia de construcción, sujeto a todos los requerimientos del cliente y del proyecto”.
  - Es un atributo del diseño, que depende del trabajo de los diseñadores
  - Es graduable, va desde cero al infinito.
  - Es teóricamente medible y comparable entre dos proyectos, aun cuando (todavía) no existen sistemas universales y objetivos de medición.
  - Está sujeta a otras variables de proyecto, eventualmente puede ser postergada por otras consideraciones de diseño más importantes.

### 1.2.2. Diferencia entre constructividad y constructabilidad

- Ambos comparten el objetivo final de lograr facilidad y eficiencia de construcción.
- La constructividad se relaciona exclusivamente con la etapa de diseño; la constructabilidad se relaciona con la gestión de todas las etapas del desarrollo de proyecto.
- La constructividad es un atributo del diseño, la constructabilidad es un enfoque en la administración de proyectos.

### 1.2.2. Diferencia entre constructividad y otros conceptos

#### *a. Diferencia entre constructividad y factibilidad de construcción*

- Factibilidad es un concepto binario (sí-no, es factible o no), la constructividad es un concepto gradual. Un proyecto no factible tiene constructividad nula.

#### *b. Diferencia entre constructividad e integración diseño-construcción*

- El conocimiento de constructividad por los diseñadores se hace críticamente necesario cuando no se puede dar integración diseño-construcción.

#### *c. Diferencia entre constructividad y Gestión de Calidad Total*

- La GCT es un concepto mayor que se aplica a todos los procesos organizativos y productivos del proyecto, dentro del cual el mejoramiento de la constructividad se realiza en la etapa de diseño. Grado de constructividad es indicador de calidad.

### 1.3. Importancia de la constructividad como atributo del diseño

#### *a. Desde el punto de vista del proyecto*

- Entre más temprano se tome una decisión de proyecto mayor impacto tiene y menor costo implica.
  - *Calidad:* Diseños con mayor constructividad generan obras de mejor calidad
  - *Tiempo:* Diseños con mayor constructividad permiten disminuir el tiempo de construcción; y optimiza el tiempo del diseñador.
  - *Costo:* diseño con mayor constructividad tienen mayor costo inicial, pero menor costo total. Además disminuyen costos post-construcción.
  - *Seguridad:* Diseño con mayor constructividad generan obras con menor riesgo.

#### *b. Desde el punto de vista de la industria*

- Diseños con mayor constructividad están correlacionados con mayor productividad y en obra y mayor rentabilidad en la empresa, que se traducen en mayor competitividad-país de la industria y beneficio social por mayor eficiencia.

#### *c. Desde el punto de vista del arquitecto*

- Beneficios económicos por un trabajo con mayor valor agregado y ahorro de costos.

- Beneficios no económicos por satisfacción y orgullo profesional
- Es una obligación ética profesional

## 2. Conocimiento de constructividad

119

### 2.1. Descripción del conocimiento de constructividad

#### 2.1.1. Características del conocimiento de constructividad

##### *a. De naturaleza principalmente tácita*

- Principalmente reside en las mentes de los expertos; asociado a experiencias, habilidades, visiones o intuiciones técnicas y generales.
- Un porcentaje menor es explícito, en la forma de documentos escritos y/o gráficos.
- En general es de difícil articulación y transferencia.

##### *b. Es principalmente procedimental e instrumental*

- Es procedimental en cuanto un arquitecto con conocimiento de constructividad lo que sabe es “hacer algo” (diseñar con alta constructividad). Es instrumental en cuanto es una herramienta que respalda el proceso de diseñar.
- Sirve para (1) analizar y entender el problema de diseño, (2) proveer alternativas de solución, (3) comparar alternativas y (4) seleccionar alternativas.

##### *c. Es conocimiento relacional*

- Relaciona variables de proceso (construcción) con variables de producto (edificio)

##### *d. Es dependiente de su contexto físico y temporal*

- Una solución particular que otorga más constructividad a un diseño en un cierto contexto de proyecto puede restarla en otro.
- Sin embargo, es un cuerpo de conocimiento consistente, pues las variables y relaciones de son las mismas a todos los contextos de diseño, aún cuando los valores específicos cambien de situación en situación.

##### *e. De especificidad graduable*

- Puede ser general, asociado a conceptos que son aplicables a la mayoría de los proyectos, o específico, asociado a aspectos puntuales de cada situación en particular.
- El conocimiento general es prioritario durante las primeras etapas del diseño y el específico es necesario para las etapas de desarrollo

##### *f. Altamente fragmentado y disperso*

- Es fragmentado porque no existe conocimiento que sea integral y completo, ni siquiera sobre un punto en específico. Es disperso porque reside en las mentes de los expertos, que se encuentran distribuidos espacial y temporalmente.

### 2.1.2. Producción y transferencia del conocimiento de constructividad

- El principal método para la creación de conocimiento de constructividad es una mezcla entre experiencia (en la propia acción), reflexión (sobre los resultados de los propios diseños) y crítica (de pares o de retroalimentación desde obra).
- Los dos mecanismos de interacción social más relevantes para transferir conocimiento de constructividad son: la socialización y la externalización.

#### *a. Socialización*

- Es el proceso de interacción y traspaso de conocimiento tácito que se da por el contacto directo entre individuos en un contexto productivo.
- Su operatoria básica involucra observación, imitación y práctica
- Es el mecanismo más usado dentro de la comunidad profesional de arquitectos.
- Puede ser *interna* (dentro de un mismo equipo de trabajo) o *externa* (entre equipos diferentes o una comunidad de práctica)

#### *b. Externalización*

- Es el proceso de formalización del conocimiento tácito en un soporte explícito que permita ser distribuido en forma independiente.
- Tiene 4 etapas principales: (1) conocimiento tácito-general → (2) conocimiento tácito-específico → (3) conocimiento explícito-específico → (4) conocimiento explícito-general
- Formalizar conocimiento tácito es un proceso lento y complejo, pero una vez que está hecho, es mucho más fácil y eficiente de transferir.
- El principal potencial de la externalización está en el área de la educación

## 2.2. Formalización del conocimiento de constructividad

### 2.2.1. Aproximaciones a la formalización del conocimiento de constructividad

- Distintos autores han propuesto mecanismos y modelos para formalizar el conocimiento de constructividad, sin existir todavía un resultado de acuerdo general.
- A grandes rasgos, los formatos han seguido una línea de evolución que comprende (1) conjuntos de recomendaciones generales y/o reglas específicas aisladas, (2) síntesis de factores transversales y/o principios generales transversales, (3) clasificaciones de factores y (4) modelos integradores.

### 2.2.2. Formatos para la formalización del conocimiento de constructividad

- Tradicionalmente se ha hecho por medio de afirmaciones declarativas directas, precisas y breves que buscan “encapsular” un aspecto puntual de una buena práctica de diseño/construcción.

- Se diferencian 4 niveles de especificidad y aplicabilidad:
  - *Factor*: Indicador general que alerta sobre lo que debe ser considerado en las decisiones de diseño. No es prescriptivo, aplicable en casi todas las situaciones
  - *Principio*: Criterio básico que orienta las decisiones de diseño, señalando la tendencia generalmente adecuada. Prescriptivo en su nivel más general.
  - *Pauta*. Guía de carácter práctico que recomienda una decisión de diseño en un contexto específico y que deriva de la aplicación práctica de un principio en un contexto definido. Es ejecutable, observable y medible.
  - *Regla*: Indicación concreta que restringe directa y explícitamente una decisión de diseño, incluso en términos cuantitativos.
- Factores y principios son comunes a cualquier proyecto; pautas y reglas son dependientes del contexto en que fueron definidas

### 3. Integración del conocimiento de constructividad en el diseño

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

- (Proceso de) diseño se define como “una serie de opciones y decisiones que tienen por propósito equilibrar distintos objetivos de proyecto, semicompetitivos entre sí, a fin de proveer una solución efectiva a un conjunto particular de necesidades del cliente, usuario y del propio proyecto”.
- Administrativamente, el proceso de diseño sigue una organización lineal, secuencial de etapas crecientes en especificidad y detalle.
- Creativamente, el proceso de diseño sigue una organización cíclica repetitiva de análisis – propuesta, con 5 etapas: (1) definir objetivos, (2) detectar restricciones, (3) integrar variables, (4) evaluar posibilidades y (5) hacer elecciones
- De acuerdo a esto, se distinguen dos modelos de integración de conocimiento:
  - *Modelo lineal acumulativo*: derivado de una concepción administrativa del diseño, en las primeras etapas se resuelven las variables formales y espaciales y posteriormente se resuelven las variables estructurales o constructivas.
  - *Modelo sistémico enfático*: derivado de la concepción creativa del diseño, todas las variables de diseño (formales, espaciales, estructurales, constructivas, etc.) existen en forma integrada desde un comienzo y progresivamente van incrementando de complejidad y de énfasis.
- Combinando ambos modelos, el conocimiento de constructividad debe existir e integrarse desde las más tempranas etapas de diseño, pero variando su contenido, especificidad y complejidad a lo largo de las distintas etapas administrativas.

- El modelo tridimensional de integración de conocimiento de constructividad ordena el conocimiento siguiendo una matriz tri-variable que relaciona (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?).

### 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*

- 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.
- Pueden ser *internas* (quien revisa es quien construirá) o *externas* (es diferente)
- Es el más usado, pero es muy ineficiente. Alto consumo tiempo y trabajo

##### *b. Modelos*

- *Modelos de producto*: lo que se simula es el objetivo físico y material (el edificio propiamente tal). Pueden ser virtuales o físicos. Destaca tecnología BIM.
- *Modelos de proceso*: lo que se simula son los procesos de construcción incluyendo flujo de materiales y recursos. Son virtuales. Destaca tecnología VDC.

##### *c. Retroalimentación desde obra*

- Sistema de comunicación fluido entre constructor y diseñador que informa desempeño en obra para ajustes de diseño
- No es método de incorporación de conocimiento porque funciona *a posteriori*.

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

- Instrumentos de seguimiento y evaluación del diseño en obra a través del registro escrito (istas de chequeo, matrices, registro de lecciones aprendidas, bitácoras, etc.).

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

- Dado que diseñar con constructividad es un “saber hacer”, más que un contenido que agregar, constituye una competencia que desarrollar.
- El principal mecanismo es situar al estudiante en el contexto de un problema de diseño para cuya solución requiera necesariamente obtener, sintetizar y aplicar conocimiento de constructividad.
- Los contextos deben ser progresivos en su grado de control, abstracción y complejidad.

4. Panorama general de los sistemas de organización del conocimiento de constructividad

- CIRIA (1983) y CII (1987) constituyen las dos bases bibliográficas más importantes, proponiendo definiciones, principios y reglas de constructividad y constructabilidad, respectivamente. A partir de ellas distintos autores han propuesto nuevas estructuras, complementando nuevas áreas, puntualizando aspectos específicos o simplemente reordenando y actualizando estos dos trabajos.
- En resumen, los conceptos que los autores han relacionado explícita o implícitamente con el grado de constructividad son: flexibilidad, simplicidad, prefabricación, pre-montaje, estandarización, modularización, mano de obra, procedimientos constructivos, secuencias constructivas, herramientas, materiales, clima, terreno, infraestructura exterior, accesibilidad, instalación de faenas, tiempo, comunicación, coordinación, sistema contractual, tolerancias y seguridad en obra.

5. El concepto de dificultad de construcción y su relación con el diseño

5.1. El concepto de dificultad de construcción

5.1.1. Necesidad de un modelo de dificultad de construcción

- No existe una definición consensuada de “dificultad de construcción”
- Se propone un modelo que define la dificultad de construcción y la descompone en sus elementos constituyentes más elementales, de manera de permitir identificar con absoluta claridad cuál es la influencia que tiene el diseño arquitectónico en el nivel de dificultad de construcción de un proyecto de dificultad.

5.1.2. Modelo Analítico de Dificultad de Construcción (MADC)

- Descompone el concepto de *dificultad de construcción* hasta llegar a indicadores observables, independientes y medibles cualitativa o cuantitativamente.
- Tiene 3 niveles y 2 fases de análisis: análisis operacional y análisis de dificultad.

*a. Primera fase: análisis operacional del proyecto*

- Su propósito es identificar y aislar cada uno de los componentes operacionales (actividades, participantes, tecnologías, condiciones) necesarios para un proyecto.
- El proyecto de construcción se compone de una serie de procesos o actividades denominadas tareas de construcción.
- Cada tarea de construcción está definida por 6 componentes: acciones, sujetos, herramientas, materiales, contexto, restricciones.
- Para realizar el análisis, es necesario identificar todas las tareas y luego para cada tarea, cada uno de sus componentes.

*b. Segunda fase: análisis de dificultad de construcción*

- Su propósito es estimar la dificultad de construcción del proyecto. Opera de forma similar al análisis operacional, pero en sentido inverso
- Cada tarea de construcción tiene asociada una dificultad unitaria. La integración de todas las dificultades unitarias determina la dificultad total de construcción.
- La dificultad unitaria esta dada por la estimación de indicadores de dificultad directamente asociados a los componentes de tarea. Un indicador está definido en la forma “a menor/mayor X, menor/mayor dificultad unitaria”, ceteris paribus.
- El conjunto de indicadores de dificultad es particular a cada proyecto, pero los indicadores en sí mismos son equivalentes entre diferentes proyectos.

5.2. Reducción de la dificultad de construcción desde el diseño

5.2.1. Aproximaciones a la reducción de dificultad total de construcción

- De todos los indicadores de dificultad, algunos pueden ser modificados por el diseño (variables), otros no modificados pero si considerados (restricciones) y otros son indiferentes (ajenos al diseño). La constructividad se enfoca en los dos primeros.
- Existen 4 estrategias o mecanismos analíticos de reducción de dificultad:
  - A través del aumento de características de diseño que impliquen tareas de construcción con menor dificultad unitaria.
  - A través del aumento de características de diseño que impliquen menos tareas de construcción
  - A través de la aumento de la repetición de características de diseño dentro un proyecto, de manera que se reduzca la variabilidad de tareas de construcción.
  - A través del aumento las características de diseño que tienen varias combinaciones de tareas de construcción posibles para lograr el mismo resultado.

6. Estructura de Conocimiento de Constructividad

6.1. Descripción general de la Estructura de Conocimiento de Constructividad (ECC)

- La ECC es un sistema de organización de conocimiento concebido con el objetivo de ordenar en forma sistemática, jerárquica, sintética, accesible y eficiente el conocimiento de constructividad existente y el que está por crearse, desde una perspectiva operativa y útil para el diseño.

*a. Factores*

- Indicador general que alerta sobre lo que debe ser considerado en las decisiones de diseño. No es prescriptivo, aplicable en la mayoría de las situaciones.
- Son especialmente útiles durante las primeras fases de diseño

- La ECC define 10 factores divididos en tres tipos: (1) factores internos a obra; (2) factores externos a obra; y (3) factores transversales:

*b. Principios*

- Criterio básico que orienta las decisiones de diseño, señalando la tendencia generalmente adecuada. Prescriptivo en su nivel más general.
- Útiles en las etapas medias de diseño.
- La ECC define 4 principios: (1) Principio de simplicidad de tareas, (2) Principio de reducción de tareas, (3) Principio de reducción de variabilidad de tareas y (4) Principio de flexibilidad de elección de tareas.

*c. Pautas*

- Guía de carácter práctico que recomienda una decisión de diseño en un contexto específico y que deriva de la aplicación práctica de un principio en un contexto definido. Es ejecutable, observable y medible.
- Las pautas no son universales y por tanto no se pueden sistematizar de manera igual que los factores o principios.

*d. Reglas*

- Indicaciones concretas que restringen directa y explícitamente una decisión de diseño, incluso cuantitativamente. Prescriptiva en el nivel más específico posible.
- Sólo son aplicables a los problemas de diseño que comparten las mismas características específicas del contexto en que fueron definidas.

6.2. Factores de la constructividad

6.2.1. Factores internos a obra

- Aquellos que son propios de las condiciones de trabajo en obra y que son directamente afectables y afectables por el equipo de proyecto.

*a. Mano de obra*

- Determinado por el conjunto de características técnicas, productivas, económicas y socioculturales del grupo humano (obrero y profesional) necesario para la realización de las tareas de construcción definidas por el proyecto

*b. Procedimientos constructivos*

- Determinado por la cantidad, variabilidad, complejidad de realización, riesgo asociado e interrelación entre los procedimientos constructivos necesarios para la realización de las tareas de construcción definidas por el proyecto.
- Incluye la consideración del orden secuencial e interrelación de los procedimientos.

*c. Herramientas*

- Determinado por las características técnicas, tecnológicas y de operabilidad de todas las herramientas, equipos y maquinarias necesarias para la realización de las tareas de construcción definidas por el proyecto.
- Considera (1) los requisitos de las herramientas en cuanto obligaciones de diseño; y (2) las capacidades de las herramientas en cuanto eficiencias de diseño.

*d. Materiales*

- Determinado por las características físicas, mecánicas y tecnológicas de los materiales, productos, insumos y materias primas sobre cuales se ejecutan las acciones necesarias para la realización de las tareas de construcción definidas por el proyecto.

6.2.2. Factores externos a obra

- Aquellos que son propios de las condiciones de trabajo en obra y que son no son directamente afectables ni afectables por el equipo de proyecto (con presunción de encargo).

*a. Clima*

- Determinado por la intensidad y características de las condiciones climáticas, atmosféricas y ambientales de la(s) zona(s) en la(s) que se desarrollarán tareas de construcción definidas por el proyecto.
- Se distinguen: (1) condiciones climáticas agresivas o extremas y (2) condiciones climáticas moderadas o con condiciones atmosféricas cambiantes.

*b. Terreno*

- Determinado por las características topográficas, geotécnicas y ambientales del terreno del proyecto y su entorno inmediato, y por el grado de incertidumbre que se tenga sobre estas características.
- Se diferencian tres ámbitos: (1) características propias del terreno, (2) grado de incertidumbre sobre esas características y (3) características del entorno inmediato.

*c. Accesibilidad*

- Determinado por la cantidad y calidad de espacio libre disponible al interior del terreno y por la capacidad de carga de las vías de acceso a la(s) zona(s) donde se desarrollarán las tareas de construcción definidas por el proyecto.
- Se distingue: (1) accesibilidad interna, referida a las consideración del espacio libre necesario al interior del sitio de construcción; y (2) accesibilidad externa, referida a la consideración del espacio libre y vías de acceso hasta el sitio de construcción.

#### *d. Tiempo*

- Determinado por la cantidad de tiempo que se requiera para realizar las tareas de construcción definidas por el proyecto.
- Considera: (1) restricciones de tiempo externas a obra, y (2) restricciones de tiempo externas a obra.

#### 6.2.3. Factores transversales

- Aquellos que son propios de las condiciones de trabajo del equipo de proyecto y no que se relacionan necesariamente con las condiciones de trabajo en obra.

#### *a. Comunicación*

- Definido por la claridad, cantidad, especificidad y calidad de la información del proyecto diseñado y por la fluidez y calidad de comunicación entre el equipo diseñador y el equipo de construcción.
- Se distingue: (1) calidad del producto de comunicación, y (2) calidad del proceso de comunicación o relación vertical.

#### *b. Coordinación*

- Definido por la coherencia, integración, y complemento entre las distintas especialidades que intervienen en el diseño del proyecto y por la fluidez y calidad de comunicación entre todos los integrantes y especialistas que conforman el equipo diseñador y el equipo de construcción.
- Se distingue: (1) calidad del producto de coordinación, y (2) calidad del proceso de coordinación o relación horizontal.

### 6.3. Principios de la constructividad

#### *a. Principio de simplificación de tareas de construcción*

- Consiste en la preferencia de características de diseño que impliquen tareas de construcción con menor dificultad unitaria.
- Deriva de la primera reducción de dificultad del MADC.
- Es el mecanismo más natural e intuitivo de todos.

#### *b. Principio de reducción de tareas de construcción*

- Consiste en la preferencia de características de diseño que impliquen menor cantidad de tareas de construcción
- Deriva de la segunda reducción de dificultad del MADC.
- Explica la prefabricación e industrialización como estrategias de mejoramiento de constructividad.

c. *Principio de reducción de variabilidad de tareas de construcción*

- Consiste en la repetición de características de diseño que impliquen una misma o muy similar tarea de construcción, y en la homogeneización de características de diseño con mínima variación que impliquen diferentes tareas de construcción.
- Deriva de la tercera reducción de dificultad del MADC.
- Explica la estandarización y modularización como estrategias de mejoramiento de constructividad

d. *Principio de flexibilidad de elección de tareas de construcción*

- Consiste en la preferencia de características de diseño que tengan más de una manera de construirse, con un mismo resultado final, y la posterior cesión al constructor de la elección de combinación de tareas de construcción que mejor se adapte a las condiciones de obra.
- Se basa en la presunción de conocimiento experto, según el cual se reconoce que el conocimiento específico sobre procesos de construcción es propio de los constructores, y por lo tanto, las decisiones en estas materias son más óptimas cuando son tomadas por ellos.

6.4. Ejemplos de pautas y reglas de constructividad

- La definición de pautas debe considerar 6 requisitos de forma y fondo:
  - El contenido principal debe ser una decisión de diseño, directamente.
  - Debe ser específica a “una” decisión de diseño (no “varias”).
  - Debe señalar concretamente una dirección específica hacia dónde orientar la decisión de diseño
  - Debe tener un un contexto de aplicación definido y claramente determinado
  - Debe ser ejecutable, observable y medible.
  - Debe señalar la razón o explicación de la orientación recomendada, a fin de que sea posible de evaluar por el diseñador en el contexto o problema de diseño
- La definición de reglas, en general, comparte los mismos criterios de estructura que una pauta, pero debe ser más específica y detallada, dejando muy poco espacio para evaluación o interpretación por del diseñador.

*Análisis de dificultad:* Segunda fase de análisis del MADC, en la cual se revisa cada uno de los componentes operacionales detectados en la primera fase y se determina su nivel de dificultad independiente asociada.

*Análisis operacional:* Primera fase de análisis del MADC, en la cual se examina el proyecto y se descompone sucesivamente identificando cada una de las operaciones en obra necesarias de realizar, sus componentes y características básicas, hasta llegar al nivel más específico posible.

*Componentes de tarea:* Dentro del MADC, cada uno de los 6 componentes fundamentales que definen y caracterizan a una tarea de construcción. Los 6 componentes son (1) acciones, (2) sujetos, (3) herramientas, (4) materiales, (5) contexto, y (6) restricciones.

*Conocimiento de constructividad:* Conjunto de saberes, experiencias, habilidades e intuiciones que se encuentran tácitamente en las mentes de los expertos, y de información y datos explícitos contenidos en documentos escritos y gráficos que se refieren a la manera de optimizar un diseño para lograr mayor facilidad y eficiencia en su construcción.

*Constructabilidad:* Enfoque de administración de la construcción que promueve la gestión eficiente del conocimiento y experiencia en construcción para optimizar todas las etapas de desarrollo del proyecto y lograr cumplir los objetivos de proyecto con los menores recursos posibles.

*Constructividad:* Grado en el cual un determinado diseño permite una mayor facilidad y eficiencia de construcción, sujeto a todos los requerimientos del cliente y del proyecto.

*Datos generales o ajenos al diseño:* Dentro del MADC, indicador de dificultad que no tiene relación alguna con el diseño.

*Dificultad total de construcción:* Dentro del MADC, la integración sumatoria de todas las dificultades unitarias de todas las distintas tareas de construcción de un proyecto de construcción.

*Dificultad unitaria:* Dentro del MADC, indicador que describe el grado de dificultad de realización de una tarea de construcción específica de un proyecto y momento dado.

*División administrativa del proceso de diseño:* Segmentación clásica del proceso de diseño que divide linealmente un proyecto en etapas consecutivas, diferentes en naturaleza y objetivos, crecientes en complejidad y nivel de detalle y que supone el cumplimiento satisfactorio de una etapa

antes de pasar a la siguiente. En el modelo chileno, las etapas son: (1) croquis, (2) anteproyecto (3) planos generales, (4) planos de detalles y de construcción y especificaciones técnicas.

División creativa del proceso de diseño: Segmentación alternativa del proceso de diseño que divide progresivamente un proyecto en una serie indefinida de iteraciones o ciclos de un mismo mecanismo básico de análisis-propuesta, creciente en complejidad. Los resultados de cada ciclo no son independientes, sino que se revisan y reprocessan en el ciclo posterior. Las etapas básicas del ciclo son: (1) definir objetivos, (2) detectar restricciones, (3) integrar variables, (4) evaluar posibilidades y (5) hacer elecciones.

Estructura de Conocimiento de Constructividad (ECC): Sistema de organización de conocimiento concebido con el objetivo principal de ordenar en forma sistemática, jerárquica, sintética, accesible y eficiente el conocimiento de constructividad existente y el que está por crearse, desde una perspectiva operativa y útil para el diseño, especialmente, en las fases iniciales.

Factor de constructividad. Primer componente de la Estructura de Conocimiento de Constructividad (ECC). Indicador general que alerta sobre lo que debe ser considerado en las decisiones de diseño. No es prescriptivo. Es propia del (buen) diseño en general, siendo aplicable en la amplia mayoría de las situaciones, aunque con diferencias de intensidad (en cierto diseño un factor puede ser más importante que otro). Los factores de constructividad son especialmente útiles durante las primeras fases de diseño, en la cual se analiza el problema de estudio y se comienzan a detectar aquellos aspectos claves que definen el proyecto.

Factores externos a obra: En la ECC, aquellos factores de constructividad que son propios de las condiciones de trabajo en obra y que son no son directamente afectables ni afectables por el equipo de proyecto (con presunción de encargo). Son factores transversales (1) Clima, (2) Terreno, (3) Accesibilidad y (4) Tiempo

Factores internos a obra: En la ECC, aquellos factores de constructividad que son propios de las condiciones de trabajo en obra y que son directamente afectables y afectables por el equipo de proyecto. Son factores internos (1) Mano de obra, (2) Procedimientos constructivos, (3) Herramientas, y (4) Materiales.

Factores transversales: En la ECC, aquellos factores de constructividad que son propios de las condiciones de trabajo del equipo de proyecto y no que se relacionan necesariamente con las condiciones de trabajo en obra. Son factores transversales (1) Comunicación y (2) Coordinación.

Formalización del conocimiento de constructividad: Proceso de transformación de conocimiento tácito en conocimiento explícito en algún formato previamente definido a fin de permitir su transferencia y distribución en forma independiente.

Indicador de dificultad Dentro del MADC, medida cuantitativas o cualitativas, observables e independientes, que describen la complejidad específica de una variable particular relevante de alguno de los 6 componentes básicos de una tarea de construcción. Un indicador de dificultad establece una relación directa, objetiva y racional entre una variable operacional de construcción y el nivel de dificultad de la tarea.

Modelo analítico de dificultad unitaria (MADC): Estructura de ordenamiento conceptual que permite tomar el concepto genérico de dificultad de construcción y descomponerlo sucesivamente en progresivos niveles de análisis hasta llegar a indicadores observables, independientes y medibles cuantitativa o cualitativamente. Consecuentemente, el MADC permite visualizar con absoluta claridad cuál es la influencia que tiene el diseño arquitectónico en el nivel de dificultad de construcción de un proyecto, y por lo tanto, delimitar específicamente el campo de acción para el mejoramiento de constructividad.

Modelo lineal acumulativo: Modelo de integración de conocimiento de constructividad en el diseño, derivado de una concepción administrativa del proceso de diseño, según el cual en las primeras etapas se 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.

Modelo sistémico enfático: Modelo de integración de conocimiento de constructividad en el diseño, derivado una concepción creativa del diseño, según el cual todas las variables de diseño (formales, espaciales, estructurales, constructivas, etc.) existen desde un comienzo en un sistema integrado que progresivamente va incrementando de complejidad y de 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 tridimensional de integración del conocimiento de constructividad: Modelo que organiza el conocimiento partir de las necesidades de información del arquitecto, siguiendo una matriz tri-variable que relaciona (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?).

Pauta: Tercer componente de la Estructura de Conocimiento de Constructividad (ECC). Guía de carácter práctico que recomienda una decisión de diseño en un contexto específico y que deriva de la aplicación práctica de un principio en un contexto definido. Es ejecutable, observable y medible. Es prescriptiva directa, a modo de táctica. Es aplicable sólo a los problemas de diseño que comparten el contexto específico en el fue definida.

Principio de Constructividad: Segundo componente de la Estructura de Conocimiento de Constructividad (ECC). Criterio básico que orienta las decisiones de diseño, señalando la tendencia generalmente adecuada. Es prescriptivo en su nivel más general, a modo de estrategia. Es aplicable a la mayoría de los problemas de diseño en contextos tradicionales. Los principios de constructividad son útiles en las etapas medias de diseño cuando las principales decisiones ya están parcialmente tomadas y comienzan a definirse los primeros detalles. Los 4 principios fundamentales son: (1) Principio de simplicidad de tareas de construcción, (2) Principio de reducción de tareas de construcción, (3) Principio de reducción de variabilidad de tareas de construcción y (4) Principio de flexibilidad de elección de tareas de construcción.

Proceso de diseño: Serie de opciones y decisiones que tienen por propósito equilibrar distintos objetivos de proyecto, semicompetitivos entre sí, a fin de proveer una solución efectiva a un conjunto particular de necesidades del cliente, usuario, y del propio proyecto.

Proyecto de construcción: Dentro del MADC, una empresa altamente compleja que involucra una serie extensa pero limitada de procesos y actividades coordinadas, que se desarrollan en forma paralela o secuencial, cada uno con sus propias tecnologías, participantes y recursos productivos necesarios, con el fin último y principal de realizar materialmente un edificio concreto.

Regla: Cuarto componente de la Estructura de Conocimiento de Constructividad (ECC). Indicación concreta que restringe directa y explícitamente una decisión de diseño, incluso en términos cuantitativos. Es prescriptiva en el nivel más específico posible. Sólo es aplicable a los problemas de diseño que comparten las mismas características específicas del contexto en que fue definida. Varía intensamente según los detalles de cada proyecto.

Restricción de diseño: Dentro del MADC, indicador de dificultad que no puede ser directamente modificado por el diseño, aunque sí considerado.

Tarea de construcción: Dentro del MADC, proceso físico, que ocurre dentro del sitio de obra o fuera de él, con un grupo definido de participantes y recursos, cuyo objetivo específico es parcial y subsidiario del objetivo de proyecto. Analíticamente, una tarea de construcción se define como el conjunto de (1) acciones que realizan ciertos (2) sujetos, con ciertas (3) herramientas, con ciertos (4) materiales, en cierto (5) contexto y bajo ciertas (6) restricciones, con el objetivo de ser un aporte parcial y subsidiario al objetivo final del proyecto de construcción.

Variable de diseño: Dentro del MADC, indicador de dificultad que puede efectivamente ser modificado por el diseño.

# Referencias

---

- Adams, S. (1990). *Constructividad*. Barcelona: Ediciones CEAC.
- Al-Ghassani, A. (2003). *Improving the Structural Design Process: a Knowledge Management Approach*. Loughborough: Loughborough University, UK.
- Allen, E. (2002). *Cómo funciona un edificio: principios fundamentales*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Arditi, D.; Elhassan, A. y Toklu, Y. (2002). *Constructability Analysis in the Design Firm*. Journal of Construction Engineering and Management, 128 (2), 117-126.
- Banwell, H. (1964). *The Placing and Management of Contracts for Building and Civil Engineering Work*. Londres: HMSO.
- Boeke, E. (1990). *Design for Constructability: a Contractor's View*. Concrete Construction, 35 (2), 198-202.
- Brawne, M. (1995). *Can We Describe How We Design?* En: Pearce, M. y Toy, M. (eds.). *Educating Architects*. Londres: Academy Editions.
- Building and Construction Authority [BCA]. (2005). *The Code of Practice of Buildable Design*. Singapur: Building and Construction Authority.
- Colegio de Arquitectos de Chile A.G. [CACH]. (1997). *Actos y servicios profesionales de los arquitectos*. Colegio de Arquitectos de Chile, A.G.: Santiago.
- Construction Industry Institute Australia [CIIA]. (1992). *Constructability Principles File*. Brisbane: Construction Industry Institute Australia.
- Construction Industry Institute Australia [CIIA]. (1996). *Constructability Manual*. Brisbane: Construction Industry Institute Australia.

- Construction Industry Institute [CII]. (1986). *Constructability: A Primer*. Austin: Construction Industry Institute, University of Texas.
- Construction Industry Institute [CII]. (1987). *Constructability Concept File*. Austin: Construction Industry Institute, University of Texas.
- Construction Industry Institute [CII]. (1993) . *Constructability Implementation Guide*. Austin: Construction Industry Institute, University of Texas.
- Construction Industry Research and Information Association [CIRIA]. (1983). *Buildability: An Assessment*. Londres: CIRIA.
- Crowther, P. (2002). *Design for Buildability and the Deconstruction Consequences*. Karlsruhe, Germany: CIB Task Group 39.
- Chen, S. y McGeorge, W. (1994). *A Systems Approach to Managing Buildability*. Australian Institute of Building Papers, 5, 75-86.
- Cross, N. y Cross, A. (1995). *Observations of Teamwork and Social Processes in Design*. Design Studies, 16 (2), 143-170.
- De Vries, B. y Harink, J. (2005). *Construction Analysis during the Design Process*. En: *Proceedings of the 11th International CAAD Futures Conference Computer Aided Architectural Design Futures*, University of Technology, Vienna, Austria, Junio 20-22.
- Del Río, A. (2005). *Integración Diseño-Construcción*. En: *Quinta Conferencia Tecnológica*, Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción, Santiago, Chile.
- Egbu, C. y Robinson, H. (2005). *Construction as a Knowledge-Based Industry*. En: Anumba, C.; Egbu, C. y Carrillo, P. *Knowledge Management in Construction*. Oxford: Blackwell Publishing Ld.
- Emmerson, H. (1962). *Survey of Problems Before the Construction Industry*. Londres: Ministry of Works.
- Emmitt, S. (2002). *Architectural Technology*. Oxford : Blackwell Science
- Ferguson, I. (1989). *Buildability in Practice*. Londres: Mitchell Publishing.
- Fischer, M. (2006). *Formalizing Construction Knowledge for Concurrent Performance-Based Design*. En.: *13th EG-ICE Workshop 2006 "Intelligent Computing in Engineering and Architecture"*, Ascona, Suiza, Junio 25-30.
- Fischer, M. y Tatum, C. (1997). *Characteristics of Design-Relevant Constructability Knowledge*. Journal of Construction Engineering and Management, 123 (3), 253-260.
- Formoso, C.; Tzotopoulos, P.; Jobim, M. y Liedtke, R. (1998). *Developing a Protocol for Managing the Design Process in the Building Industry*. En: *Proceedings Sixth Annual Conference of the International Group for Lean Construction IGLC-6*, Guarujá, Brazil.
- Folk, D. (2005). *Constructability: Does the Design Convey Enough Information?* Schinnerer's 44th Annual Meeting of Invited Attorneys. San Antonio, TX: Victor Shinnerer and Company, Inc.

- Fox, S.; Marsh, L. y Cockerham, G. (2002). *Constructability Rules: Guidelines for Successful Application to Bespoke Buildings*. Construction Management and Economics, 20, 689-696.
- Francis, V.; Mehrtens, V.; Sidwell, A. y McGeorge, W. (1999). *Constructability Strategy for Improved Project Performance*. Architectural Science Review, 42, 133-138.
- Gimenez, Z. y Suarez, C. (2008). *Diagnóstico de la gestión de la construcción e implementación de la constructabilidad en empresas de obras civiles*. Revista Ingeniería en Construcción, 23 (1), 4-17.
- Glavinich, T. (1995). *Improving Constructability during Design Phase*. Journal of Architectural Engineering, 1 (2), 73-76.
- Gray, C. (1983). *Buildability: the Construction Contribution*. Ascot: The Chartered Institute of Building.
- Gray, C. y Hughes, W. (2001). *Building Design Management*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- Griffith, A. y Sidwell, A. (1997). *Development of Constructability Concepts, Principles and Practices*. Engineering, Construction and Architectural Management, 4 (4), 295-310.
- Gugel, J. y Russell, J. (1994). *Model for Constructability Approach Selection*. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 120 (3), 509-521.
- Halpin, D. y Woodhead, R. (1976). *Design of Construction and Process Operations*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Hanlon, E. y Sanvido, V. (1995). *Constructability Information Classification Scheme*. Journal of Construction Engineering and Management, 121 (4), 337-345.
- Hanna, A. y Sanvido, V. (1990). *Interactive Vertical Formwork Selection System*. Concrete International, 12 (4), 26-32.
- Hassan, S. (2005). *Design Phase Constructability Concepts in Highway Projects*. Skudai: Universiti Teknologi Malaysia.
- Hegazy, T.; Khalifa, J. y Zaneldin, E. (1998). *Toward Effective Design Coordination: a Questionnaire Survey*. Canadian Journal of Civil Engineering, 25 (3), 595-603.
- Holroyd, T. (2003). *Buildability: Successful construction from concept to completion*. Londres: ThomasTelford.
- Ioannou, P. y Liu, L. (1993). *Advanced Construction Technology – ACTS*. Journal of Construction Engineering and Management, 119 (2), 288-306.
- Jergeas, G. y Van der Put, J. (2001). *Benefits of Constructability of Construction Projects*. Journal of Construction Engineering and Management, 127 (4), 281-290.
- Johnson, B.; Lorenz, E. y Lundvall, B. (2002). *Why All This Fuss About Codified and Tacit Knowledge?* Industrial and Corporate Change, 11 (2), 245-262.

- Khayyal, S. (1990). *Towards a Master Builder Information Framework for Project Developers*. Technical Report N° 16, Computer Integration Construction Research Program, University Park: The Pennsylvania State University.
- Kamara, J., Anumba, C., & Carrillo, P. (2002). *Knowledge management in the architecture, engineering and construction industry*. *Construction Innovation*, 2, 53-67.
- Kululanga, G. y McCaffer, R. (2001). *Measuring Knowledge Management for Construction Organizations*. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 8 (5/6), 346-354.
- Lam, P. y Wong, F. (2008). *Implementing a Buildability Assessment Model for Buildability Improvement*. *Architectural Science Review*, 51 (2), 173-184.
- Lam, P.; Wong, F. y Chan, A. (2006). *Contributions of Designers to Improving Buildability and Constructability*. *Design Studies*, 27, 457-479.
- Lam, P.; Wong, F. y Wong, F. (2007). *Building Features and Site-Specific Factors Affecting Buildability in Hong Kong*. *Design Studies*, 457-479.
- Loforte, F. (2009). *Enhancing knowledge management in construction firms*. *Construction Innovation*, 9 (3), 268-284.
- Low, S. (2001). *Quantifying the Relationships between Buildability, Structural Quality and Productivity in Construction*. *Structural Survey*, 19 (2), 106-112.
- Low, S. y Abeyegoonasekera, B. (2001). *Integrating Buildability in ISO 9000 Quality Management Systems: Case Study of a Condominium Project*. *Building and Environment*, 36, 299-312.
- Low, S.; Liu, J. y Oh, K. (2008a). *Influence of Total Building Performance, Spatial and Acoustic Concepts on Buildability Scores of Facilities*. *Facilities*, 26 (1/2), 85-104.
- Low, S.; Liu, J. y Wongm, H. (2008b). *Relationship between Buildability, Indoor Air Quality and Visual Performance*. *Structural Survey*, 26 (1), 38-54.
- Lücke, H.(1975). *Alberti index: Leon Battista Alberti, De re aedificatoria*. München: Prestel.
- Mbamali, I., Aiyetan, O., y Kehinde, J. (2005). *Building Design for Buildability: an Investigation of the Current Practice in Nigeria*. *Building and Environment*, 40, 1267-1274.
- Moore, D. (1996). *The Renaissance: The Beginning of the End for Implicit Buildability*. *Building Research and Information*, 24 (5), 259-269.
- National Economic Development Office (NEDO). (1975). *The Wood Report: The Public Client and the Construction Industry*. Londres: HMSO.
- Nicholson, M. (ed.) (1992). *Architectural Management*. New York: E & F N Spon.
- Nima, M.; Abdul-kadir, y M., Jaafar, M. (2001a). *Evaluation of the Role of the Contractor's Personnel in Enhancing the Project Constructability*. *Structural Survey*, 19 (4), 193-200.

- Nima, M.; Abdul-kadir, M.; Jaafar, M. y Alghulami, R. (2001b). *Constructability Implementation: a Survey in the Malaysian Construction Industry*. Construction Management and Economics, 19 (8), 819-829.
- Nima, M.; Abdul-kadir, M.; Jaafar, M. y Alghulami, R. (2004). *Constructability Concepts in Kuala Selangor Cable-Stayed Bridge in Malaysia*. Journal of Construction Engineering and Management, 130 (3), 315-321.
- Nonaka, I. y Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford: Oxford University Press.
- Nonaka, I. y Toyama, R. (2003). *The Knowledge—Creating Theory Revisited: Knowledge Creation as Synthesizing Process*. Knowledge Management Research y Practice, 1, 2-10.
- O'Connor, J. (1985). *Impact of Constructability Improvement*. Journal of Construction Engineering and Management, 111 (4), 404-411.
- O'Connor, J. y Davis, V. (1988). *Constructability Improvement during Field Operations*. Journal of Construction Engineering and Management, 114(4), 548–564.
- O'Connor, J. y Tucker, R. (1986). *Industrial Project Constructability Improvement*. Journal of Construction Engineering and Management, 112 (1), 69-82.
- O'Connor, J.; Rusch, S. y Schultz, M. (1987). *Constructability Concepts for Engineering and Procurement*. Journal of Construction Engineering and Management, 113 (2), 235-247.
- Oyedele, L. y Tham, K. (2007). *Clients' Assessment of Architects' Performance in Building Delivery Process: Evidence from Nigeria*. Building and Environment, 42, 2090-2099.
- Pulaski, M.; Horman, M. y Riley, D. (2006). *Constructability Practices to Manage Sustainable Building Knowledge*. Journal of Architectural Engineering, 12 (2), 83-92.
- Pulaski, M. y Horman, M. (2005). *Organizing Constructability Knowledge for Design*. Journal of Construction Engineering and Management, 131 (8), 911-919.
- Radtke, M. y Russell, J. (1993) *Project-Level Model Process for Implementing Constructability*. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 119 (4), 813-831.
- Reymen, I. (2001). *Improving Design Processes through Structured Reflection: a Domain-independent Approach*. Eindhoven: Center for Technological Design at the Technische Universiteit Eindhoven.
- Rischmoller, L. (2008). *Simulación de proyectos y planificación en obras de construcción*. Santiago: Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Camara Chilena de la Construcción.
- Russell, J. y Gugel, J (1993). *Comparison of Two Corporate Constructability Programs*. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 119 (4), 769-784.
- Russell, J.; Gugel, J. y Radtke, M. (1992). *Comparative Analysis of Three Constructability Approaches*. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 120 (1), 180-195.

- Russell, J.; Swiggum, K.; Shapiro, J. y Alaydrus, A. (1994). *Constructability Related to TQM, Value Engineering, and Cost/Benefits*. Journal of Performance of Constructed Facilities, 8 (1), 31-45.
- Sabbagh, J. (2005). *Integración Diseño y Construcción, una tarea pendiente*. En: *Quinta Conferencia Tecnológica*, Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción, Santiago, Chile.
- Sainz, J. (2005). *El dibujo de arquitectura : teoría e historia de un lenguaje gráfico*. Barcelona: Reverté.
- Sanvido, V.; Khayyal, S.; Guvenis, M.; Norton, K.; Hetrick, M.; Al Muallem, M.; Chung, E.; Medeiros, D.; Kumara, S. y Ham, I. (1990). *An Integrated Building Process Model*. Technical Report N°1, Computer Integrated Construction Research Program, University Park: The Pennsylvania State University.
- Schon, D. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. New York: Basic Books.
- Sebastian, R. (2005). *The Interface between Design and Management*. Design Issues, 21 (1), 81-93.
- Solminihaç, H. y Thenoux, G. (2000). *Procesos y técnicas de construcción*. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Tatum, C. (1987). *Improving Constructability during Conceptual Planning*. Journal of Construction Engineering and Management, 113 (2), 191-206.
- Tatum, C. (1988). *Classification System for Construction Technology*. Journal of Construction Engineering and Management, 114 (3), 344-363.
- Tatum, C.; Vanegas, J. y Williams, J. (1986). *Constructability Improvement Using Prefabrication, Preassembly, and Modularization*. Tech. Rep. No 297, Department of Civil Engineering, Stanford: Stanford University.
- Thabet, W. (1999). *Design-Construction Integration through Virtual Construction for Improved Constructability*. Stanford: Berkeley-Stanford CE&M Workshop.
- Touran, A. (1988). *Concrete Formwork: Constructability and Difficulties*. Civil Engineering Practice, 3 (2), 81-88.
- Trigunaryah, B. (2004a). *A Review of Current Practice in Constructability Improvement: Case Studies on Construction Projects in Indonesia*. Construction Management and Economics, 22 (6), 567-80.
- Trigunaryah, B. (2004b). *Constructability Practices among Construction Contractors in Indonesia*. Journal of Construction Engineering and Management, 130 (5), 656-669.
- Trigunaryah, B. (2004c). *Project Designers' Role in Improving Constructability of Indonesian Construction Projects*. Construction Management and Economics, 25, 207-215.

- Uhlik, F. y Lores, G. (1998). *Assessment of Constructability Practices among General Contractors*. Journal of Architectural Engineering, 4 (3), 113-123.
- Vanegas, J.; Tatum, C. y Colarelli, V. (1988). *A Structure for Construction Input During Preliminary Design*. Stanford: Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) Stanford University.
- Vitruvius Pollio, M. (1999). *Vitruvius : Ten Books on Architecture*. New York: Cambridge University Press.
- Wenger, E. (1998). *Communities of Practice: Learning, Meaning, and Identity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Williams, S. (2007). *Construction Document Changes to Improve Constructability*. National Conference on Building Commissioning.
- Wong, F.; Lam, P.; Chan, A. y Chan, E. (2006a). *A Review of Buildability Performance in Hong Kong and Strategies for Improvement*. Surveying and Built Environment. 17 (2), 37-48.
- Wong, F.; Lam, P.; Chan, E. y Wong, K. (2006b). *Factors Affecting Buildability of Building Designs*. Canadian Journal of Civil Engineering, 33 (7), 795-806.
- Wong, F.; Lam, P.; Chan, E. y Shen, L. (2007). *A Study of Measures to Improve Constructability*. International Journal of Quality Reliability Management, 26 (6), 586-601.
- Woo, J. H. (2005). *Sharing Tacit Design Knowledge in a Distributed Design Environment*. PhD Thesis, College Station: Texas A&M University.
- Woo, J.H.; Clayton, M.; Johnson, R.; Flores, B. y Ellis, C. (2005). *Sharing Tacit Design Knowledge in a Distributed Design Environment*. College Station: Texas A&M University.
- Woon, K. (2006). *Integrating Constructability Into Design Process*. MSc Thesis, Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia.
- Wright, E. (1994). *Constructability Guide*. Obrien-Kreitzberg Assoc Inc.
- Yang, Y.; Low, S.; Wang, S. y Goh, B. (2003). *A Knowledge Classification Scheme for Constructable Designs*. Construction Informatics Digital Library.
- Yates, J., y Battersby, L. (2003). *Master Builder Project Delivery System and Designer Construction Knowledge*. Journal of Construction Engineering and Management, 129 (6), 635-644.
- Zin, R. (2004). *Design Phase Constructability Assessment Model*. Skudai: Universiti Teknologi Malaysia.
- Zin, R.; Abd, M.; Fadhil, C.; Putra, C. y Mohammed, A. (2004). *Neural Network Model for Design Constructability Model*. Jurnal Teknologi, 40(B), 27–40.

## Bibliografía recomendada

---

140

*Adams, Stewart. (1990). Constructividad Barcelona: Ediciones CEAC.*

Es uno de los pocos textos específicos en esta materia traducidos al español: su título original es "Buildability", publicado en 1989. Derivado directamente del trabajo de CIRIA (1983), sigue el enfoque dado por este organismo, señalando explícitamente que la constructividad es responsabilidad del equipo proyectista. Explica los tres principios de constructividad y 16 estrategias definidas por CIRIA, agregando una aclarativa serie de detallados ejemplos ilustrados del campo del diseño en ingeniería civil.

*Best, Rick, y de Valence, Gerard (eds.). (2002). Design and Construction: Building in Value. Oxford: Butterworth-Heinemann.*

Este libro es una excelente ayuda para el estudiante o profesional del diseño sin experiencia en la industria de la construcción y que desea interiorizarse en temas actuales en desarrollo. En un lenguaje simple, presenta en 20 capítulos una serie de introducciones a temas como edificios inteligentes, planificación de costos, automatización en construcción, gestión de calidad, gestión de residuos, *lean construction*, modelación energética, y por supuesto, constructividad.

*Construction Industry Institute [CII].*

*Constructability: A Primer (1986); Constructability Concept File (1987); Constructability Implementation Guide (1993). Austin: University of Texas.*

Esta serie de documentos y guías es la más completa en el área de la constructabilidad, con un enfoque que cubre todas las etapas de proyecto y fuertemente orientado hacia el nivel gerencial y administrativo. El diseño representa sólo una etapa más dentro de esta visión mayor. El primer documento define el concepto y su importancia; el segundo define y describe 16 estrategias fundamentales para la mejora de la constructabilidad; y el tercer documento describe detalladamente las etapas, objetivos y acciones estratégicas para la implementación de un plan de mejora de constructabilidad en una empresa constructora.

*Ferguson, Ian. (1989). Buildability in Practice. Londres: Mitchell Publishing.*

Este excelente libro entrega una detallada revisión de la relación entre facilidad de construcción y el diseño, planificación, comunicación y labores en terreno. Está profusamente ilustrado con y esquemas técnicos que ejemplifican cada uno de los puntos. Concluye con la presentación de dos casos de proyectos reales que muestran la aplicación de los principios de constructividad en detalle. Es, sin embargo, un libro difícil de encontrar.

*Holroyd, T. (2003). Buildability: Successful construction from concept to completion. Londres: ThomasTelford.*

Esta obra puede dividirse en dos partes: En la primera, que comprende los tres primeros capítulos, se hace una introducción general al tema, con reseñas sobre el estado actual de la industria, la consideración de los factores de salud y seguridad en construcción y sobre el proceso general del proyecto de construcción. La segunda parte tiene forma de guía práctica para el diseño y planificación de construcción, presentando una exploración de las principales puntos a considerar para cada una de las partidas de construcción, desde la preparación del terreno hasta el tendido de instalaciones. Se agrega una serie de listas de chequeo y tablas informativas como ayuda para el profesional.

*Wong, F.; Lam, P.; Chan, E. y Shen, L. (2007). A Study of Measures to Improve Constructability. International Journal of Quality Reliability Management, 26 (6), 586-601.*

Este breve artículo presenta los resultados de una exhaustiva investigación bibliográfica que indaga en las definiciones y usos de los conceptos de constructividad y constructabilidad. Es una excelente referencia para obtener en forma rápida y resumida un panorama general de las principales investigaciones y autores durante los últimos 20 años.

La constructividad es el grado en el cual un determinado diseño permite una mayor facilidad y eficiencia de construcción, sujeto a todos los requerimientos del cliente y del proyecto. Diseños con mayor constructividad son aquellos que consideran atentamente las particularidades prácticas de los procesos de construcción, facilitando el desarrollo de obras eficientes, rápidas, seguras, económicas y de alta calidad.

Este libro hace una detallada revisión sobre la constructividad del diseño de arquitectura, especialmente en las etapas más preliminares del proyecto. La primera parte analiza el concepto, su conocimiento específico asociado y sus mecanismos de producción, transferencia e incorporación en el diseño, tanto en un plano profesional como académico. La segunda parte propone un sistema de ordenamiento del conocimiento de constructividad creado específicamente para satisfacer las demandas y necesidades del diseño.

