

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

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

	<i>Proponen directamente estructuras de formalización</i>											<i>Se refieren indirectamente</i>						
	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