Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas **DCTA**
Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid U.P.M.

E L P L A N T E A M I E N T O S I S T É M I C O D E L P R O C E S O C O N S T R U C T I V O

Autor Beatriz del Río Calleja. Arquitecto
Director Alfonso García Santos. Doctor Arquitecto
2022

El tema que aborda la tesis es uno de los principales argumentos de debate actual en gran parte de las escuelas de arquitectura. Por lo que uno de los principales beneficios de la tesis es la posibilidad de abrir una nueva vía de investigación genuinamente arquitectónica.

Esta investigación tiene un marcado carácter práctico, pues ofrece a la comunidad académica y profesional un nuevo modelo original de pensamiento que puede ser empleado como herramienta para la discusión y crítica de la arquitectura, para pensar la construcción desde un planteamiento relacional y para concebir la arquitectura de forma holística e integral, sin renunciar a la creciente extensión del conocimiento.

El modelo propuesto puede ser trasladado a otros campos profesionales con problemáticas similares. La tesis demuestra que el enfoque sistémico es muy adecuado para abordar problemas complejos, habituales en campos multidisciplinares.

La tesis sintetiza una gran cantidad de información y la transforma en conocimiento útil para la solución de problemas prácticos.

Por otra parte, el empleo de la diagramación como uno de los principales instrumentos metodológicos es una herramienta grafica que permite la comprensión de totalidades de manera relacional y dinámica (en evolución). Es vehículo del pensamiento complejo.

La investigación hace un recorrido completo que se inicia con el pensamiento abstracto, continua con la propuesta, elaboración y definición de un modelo hasta alcanzar la comprobación y aplicación sobre un caso práctico. Es un trabajo original y de carácter propositivo.

RESUMEN

La tesis aborda la fragmentación del conocimiento y la consecuente disociación generada entre el campo artístico y el técnico en la disciplina de la arquitectura a través del enfoque sistémico. La hipótesis comprobada en la investigación es que el planteamiento sistémico del proceso de diseño arquitectónico genera un Modelo capaz de organizar el pensamiento arquitectónico de forma integral. El planteamiento sistémico favorece la creación de conocimiento relacional, que otorga potencia y vigor creativo a la aptitud del arquitecto(s) para proyectar.

El objetivo principal es la elaboración de un Modelo para manejar la complejidad en la disciplina arquitectónica, complejidad que deriva tanto de la extensión del conocimiento, como de la propia complejidad asociada al proyecto como proceso de diseño.

Los métodos empleados son: el análisis y la síntesis de manera cíclica e iterativa, la diagramación conceptual, y el pensamiento complejo.

El estado del arte revisa la Biomímesis, la cuestión del orden, la concepción conjunta de arte y técnica, la historia de la construcción, el binomio arquitectura-complejidad y la aplicación del enfoque sistémico sobre la arquitectura. Se identifica una oportunidad de investigación en la elaboración de una base de fundamentación teórica y en la propuesta de modelos que posean un verdadero comportamiento sistémico y que se lleven a la práctica.

La fundamentación teórica se configura en base a las teorías de la complejidad y los métodos de diseño. A partir de la fundamentación se realiza una síntesis teórica denominada “Estructura de pensamiento” en la que se apoya el desarrollo del Modelo.

El Modelo establece una subdivisión en tres subsistemas o matrices (representadas gráficamente por tetraedros): la matriz de la generación, la de fundamentación y la de la lógica constructiva. A la identificación de las matrices se superpone la subdivisión del Modelo en base a niveles de organización jerarquizados (Edificio - Elemento - Ámbito Material). Éstos tienen en consideración las leyes del orden y de la escala y se establecen con el objetivo de alcanzar una mayor operatividad en la que esté siempre garantizada la capacidad de relación. En cada nivel de organización se han establecido arquetipos de referencia. De esta manera, el sistema propuesto permite explicar todas las partes en base a su función, al mismo tiempo que posibilita proceder sobre la unidad global manteniendo la visión integral del conjunto, estableciendo una relación entre el orden estructural del todo y de las partes. Finalmente se considera la condición del equilibrio.

La tesis tiene un carácter teórico, propositivo y metodológico. Se verifica el Modelo sobre un caso de estudio, la *Serpentine Gallery* de 2005 (construcción efímera contemporánea de interés arquitectónico, vinculada a la historia de la construcción como estructura recíproca). En el caso de estudio se comprueban la matriz de fundamentación (idea, forma, imagen) y la matriz de la lógica constructiva (geometría, material, función). Los resultados muestran la importancia del estudio relacional de las soluciones constructivas históricas. El uso de las matrices permite identificar y comprender las operaciones realizadas en el proceso de diseño del caso de estudio. Las matrices favorecen la organización de conceptos y relaciones a partir de un enfoque sistémico. La comprensión de las operaciones de generación de forma integrada conduce a un tipo de conocimiento (conocimiento relacional) que permite pensar la arquitectura de forma holística. Esto hace posible la visión sistémica del arte y la tecnología como una unidad, atendiendo a toda la complejidad del pensamiento arquitectónico.

El Modelo propuesto constituye un sistema de representación organizada del pensamiento arquitectónico que facilita la identificación y definición de los problemas complejos para operar con ellos de manera sistémica y relacional, manteniendo la visión holística sobre el proceso de diseño arquitectónico.

ÍNDICE

I. RESUMEN i
II. AGRADECIMIENTOS xv
III. ÍNDICE xvi

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN 1

1.1 ENUNCIADO Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1
1.2 HIPÓTESIS 3
1.3 OBJETIVOS 3
1.4 APORTACIONES 4

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA 5

CAPÍTULO 3

INTRODUCCIÓN Y ESTADO DE LA CUESTIÓN 10

3.1 LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS Y COMPLEJIDAD EN EL DISCURSO CIENTÍFICO Y FILOSÓFICO. SISTEMAS Y COMPLEJIDAD ORGANIZADA 10
3.2 EL PLANTEAMIENTO SISTÉMICO 12
3.3 EL PLANTEAMIENTO SISTÉMICO EN EL EJERCICIO ARQUITECTÓNICO 14
Biomímesis 14
Orden, organización sistémica 16
3.4 ARQUITECTURA: CONSTRUCCIÓN Y ARTE 22
3.5 ARQUITECTURA E HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN 25
3.6 ARQUITECTURA Y COMPLEJIDAD: UNA APROXIMACIÓN DESDE LA TEORÍA DE LA ARQUITECTURA 29
3.7 INTEGRACIÓN: EL ENFOQUE SISTÉMICO APLICADO. REVISIÓN DE RESULTADOS EN EL CAMPO DE LA ARQUITECTURA 35
DESDE LA PERSPECTIVA DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y DESDE LA INDUSTRIA DE LA ARQUITECTURA, DE LA INGENIERÍA Y DE LA CONSTRUCCIÓN (AEC). 35
Christopher Alexander 36
Yona Friedman 40
Gijsbertus Luiten 41
Leonard Bachmann 44

Zeiler y Quanjel 48
Landherr y Westkämper 52
DIAGRAMAS DE INTEGRACIÓN 54
HERRAMIENTAS RESULTADO DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SISTÉMICA EN EL CAMPO DE LA ARQUITECTURA. 57
Tyson R. Browning 57
Kasper Sánchez-Vibaek 62
DIAGRAMA DE HERRAMIENTAS 68

CAPÍTULO 4

TEORÍA DE LOS SISTEMAS DINÁMICOS NO LINEALES O REDES ADAPTATIVAS COMPLEJAS. [TEORÍA(S) DE LA COMPLEJIDAD]. 70

4.1 INTRODUCCIÓN 70
4.2 LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS (TGS) 74
El significado de la teoría general de sistemas 74
El concepto de sistema, características sumativas y constitutivas 75
El orden jerárquico 76
El comportamiento del sistema 77
Principios básicos y conceptos fundamentales de la Teoría General de Sistemas (TGS) 77
CONCEPTOS 78
PRINCIPIOS BÁSICOS 83
Aproximaciones recientes a la TGS 83
4.3 COMPLEJIDAD 84
Herbert Simon 87
Edgar Morin 90
4.4 COMPLEJIDAD APLICADA AL PROYECTO ARQUITECTÓNICO Y A LA INDUSTRIA AEC (*ARCHITECTURE, ENGINEERING & CONSTRUCTION*) 94
DIAGRAMAS DE TEORÍA(S) DE LA COMPLEJIDAD 106

CAPÍTULO 5

METODOS DE DISEÑO 109

5.1 INTRODUCCIÓN 109
CONOCIMIENTO DE DISEÑO 109
INVESTIGACIÓN DE DISEÑO 109
5.2 MÉTODOS DE DISEÑO 110
MARCO GENERAL 111
LA CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS 115

5.3 AUTORES, MÉTODOS Y MODELOS 118
MODELOS Y MÉTODOS 118
PRIMERA GENERACIÓN 118
Morris Asimow 118
Bruce Archer 120
Christopher Alexander 122
Walter R. Reitman 124
John Luckman 125
Christopher Jones 127
Herbert A. Simon y Allen Newell 132
SEGUNDA GENERACIÓN (1970-1990) 136
Horst Rittel 136
Bruno Munari 139
Peter G.Rowe 139
Donald Shön 140
Nigel Cross 143
Stuart Pugh 146
Hideaki Takeda 147
SEGUNDA GENERACIÓN (1990-2000) 150
Richard Buchanan 150
Genrich Altshuller 152
Nam Suh 154
Vladimir Hubka y Ernst Eder 156
Gerhard Pahl y Wolfgang Beitz 159
Genichi Taguchi 161
Lionel March 161
John S. Gero 162
Bryan R. Lawson 164
Derrick Tate y Mats Nordlund 166
Gabriela Goldshmith 168
Rivka Oxman 170
Masaki Suwa y Barbara Tversky 171
SEGUNDA GENERACIÓN (A PARTIR DEL 2000) 172
Lauri Koskela 172
Isabelle Reymen 175
Amaresh Chakrabarti 177
A. Hatchuel y Benoit Weil 179
Klaus Krippendorff 183
T.J. Howard, S.J. Culley and E. Dekoninck 184
Roberto Verganti 186

Hernandis Ortuño y Briede Westermeyer 187
Chun-Hung Lin 189
NUEVAS TENDENCIAS EN LA METODOLOGÍA DE DISEÑO. NUEVOS ESCENARIOS 190
DIAGRAMAS DE MÉTODOS DE DISEÑO 194

CAPÍTULO 6

BASE TEÓRICA COMÚN DE LAS DISCIPLINAS: TEORÍA DE LOS SISTEMAS DINÁMICOS NO LINEALES Y MÉTODOS DE DISEÑO. LA ESTRUCTURA DE PENSAMIENTO (*THE THINKING STRUCTURE)* 199

6.1 COMPONENTES 200
Sistema 200
Subsistema 201
Elemento o Componente 201
Entorno o contexto 201
6.2 CONFIGURACIÓN, ESTRUCTURA 202
La idea de orden 202
Estructura del sistema 203
La jerarquía 204
6.3 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS 206
Características 206
Propiedades 206
6.4 COMPORTAMIENTO 208
Evolución 208
No linealidad 209
El buen ajuste 209
6.5 INTERRELACIONES 210
6.6 ACCIONES Y OPERACIONES 211
Interpretar, reinterpretar 211
Representar 211
Comunicar(transmitir información) 212
6.7 MODELO 213
6.8 LA ESTRUCTURA DE PENSAMIENTO (*THINKING STRUCTURE*) Y SU EMPLEO EN LA ELABORACIÓN DEL SISTEMA / MODELO 216

CAPÍTULO 7

EL SISTEMA / MODELO 218

7.1 SISTEMA / MODELO 219
TETRAEDROS (SUBSISTEMAS / MATRICES) DEL SISTEMA 220

7.2 SUBSISTEMA / MATRIZ DE LA ESTRUCTURA DE LA GENERACIÓN (CAJA NEGRA - CAJA TRANSPARENTE - CAJA ALMACÉN) 221
La caja negra 222
La caja transparente 222
La Caja almacén 223
7.3 SUBSISTEMA / MATRIZ DE FUNDAMENTACIÓN (IDEA - FORMA - IMAGEN) 225
Idea 226
Forma 228
Imagen 235
7.4 SUBSISTEMA / MATRIZ DE LA LÓGICA CONSTRUCTIVA (GEOMETRÍA - MATERIAL - FUNCIÓN) 238
Geometría 240
Material 243
Función 250
7.5 ORGANIZACIÓN EN NIVELES. LA DESCOMPOSICIÓN DEL SISTEMA EN PARTES 255
La consideración del orden escalar 255
La consideración del cubo como sistema de referencia 255
La consideración de mantener la unidad de comprensión 256
La consideración de mantener los procedimientos deductivos en cada orden escalar 256
La consideración de posibilitar la diferenciación entre funciones 256
NIVELES DE ORGANIZACIÓN 257
7.6 LOS ARQUETIPOS DEL EDIFICIO (CUEVA - CABAÑA - TIENDA) 259
Cueva 259
Cabaña 260
Tienda 261
7.7 ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS 264
Elementos arquitectónicos Arquetipo (suelo – muro/paredes – cubierta/techo) 264
Elementos arquitectónicos Tipo segundo orden) 266
7.8 EQUILIBRIO 269

CAPÍTULO 8

CASO DE ESTUDIO. VERIFICACIÓN DEL SISTEMA / MODELO 276

SERPENTINE GALLERY 277
ESTRUCTURAS RECÍPROCAS 277
8.1 MODELO Y METODOLOGÍA 279
HERRAMIENTAS GRÁFICAS 280
LA DIAGRAMACIÓN Y CARTOGRAFÍA (*MAPPING*) CONCEPTUAL 280
PROCESO DE ANÁLISIS SISTÉMICO 281
Fase 01. Fase documental 281
Fase 02. Fase de Diagramación y Análisis cronológico de las estructuras recíprocas. 281

Fase 03. Fase de Diagramación y Análisis de información. Subsistema / Matriz de Fundamentación (idea - forma - imagen) 281
Fase 04. Fase de Diagramación y Análisis sistémico en torno al Subsistema / Matriz de la Lógica Constructiva (geometría - material - función) 284
FLUJO DE TRABAJO DE LOS SUBSISTEMAS / MATRICES 286
8.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 288
Análisis histórico-constructivo de las estructuras recíprocas 288
DIAGRAMAS CRONOLÓGICOS DE LA EVOLUCIÓN DEL PRINCIPIO DE RECIPROCIDAD ESTRUCTURAL A LO LARGO DE LA HISTORIA DE LA ARQUITECTURA EN OCCIDENTE 291
Análisis Sistémico a través del Subsistema / Matriz de Fundamentación 295
DIAGRAMAS DE LA MATRIZ DE FUNDAMENTACIÓN 298
Análisis Sistémico de la Matriz / Subsistema de la Lógica Constructiva 304
DIAGRAMAS DE LA MATRIZ DE LA LÓGICA CONSTRUCTIVA 310
8.3 CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO 318

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN 321

9.1 CONCLUSIONES 321
9.2 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN 326

CAPÍTULO 10

BIBLIOGRAFÍA 327

NOTA BIOGRÁFICA



Doctora por la UPM y Máster en Arquitectura, Diseño y Modelado de Proyectos y *BIM Manager Revit Struture& MEP*. Profesora del Grado en Diseño de Interiores la UPM y en la ETSAM. Publica trabajos de investigación y comunicaciones en congresos.

Ha participado en concursos, proyectos básicos y de ejecución con arquitectos reconocidos. Ha proyectado y dirigido obras de restauración para la DGP de la CAM y para particulares; Obra nueva de equipamiento social. Desde 2017, consultor senior, experta en diseño y desarrollo constructivo de proyectos de ejecución y dirección de obra en BIM para ingenierías y grandes estudios de arquitectura.

INFORME SOBRE EL PROCESO DE REVISIÓN

Para la publicación de la tesis siguiendo las condiciones de la línea editorial de la colección, será necesario reelaborar la maquetación de la tesis para ajustarla al formato de la editorial y acreditar los permisos para la reproducción de las imágenes que no han sido elaboradas por el autor.

Se realizará una síntesis-resumen del capítulo de antecedentes, recogiendo los autores más relevantes para la disciplina arquitectónica. Los capítulos de teorías de la complejidad y métodos de diseño se transformarán reduciendo su extensión de forma muy significativa y serán redactados de una manera más narrativa.

La tesis cuenta con una gran cantidad de imágenes, diagramas y figuras que serán objeto de una importante selección reduciendo su número y eligiendo solo las fundamentales. De estas imágenes se contará con las autorizaciones necesarias. Las figuras o imágenes del caso de estudio en particular se redibujarán por parte de la autora en las ocasiones que resulte conveniente.