Hacia una arquitectura de procesos: Transformaciones disciplinares a través de la Computación en los modelos de Alexander, Negroponte y Price

TESIS DOCTORAL

Paula Montoya Sáiz

Departamento de Proyectos Arquitectónicos
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Universidad Politécnica de Madrid

Enero 2016

Documento maquetado con T_EX^S v.1.0+.

Este documento está preparado para ser imprimido a doble cara.

**Hacia una arquitectura de
procesos:**
Transformaciones disciplinares
a través de la Computación
en los modelos de
Alexander, Negroponte y Price

Memoria que presenta para optar al título de Doctor en Arquitectura

Paula Montoya Sáiz

Dirigida por el Doctor

José Ballesteros Raga

**Departamento de Proyectos Arquitectónicos
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Universidad Politécnica de Madrid**

Enero 2016

Resumen

La premisa inicial de la tesis examina cómo las secuelas de Segunda Guerra mundial motivaron una revisión general de la Ciencia y procuraron una nueva relación entre el hombre y su entorno. Matemáticas, Física y Biología gestaron las Ciencias de la Computación como disciplina de convergencia. En un momento de re-definición del objeto científico, una serie de arquitectos vislumbraron la oportunidad para transformar ciertas convenciones disciplinares. Mediante la incorporación de ontologías y procedimientos de cibernética y computación, trazaron un nuevo espacio arquitectónico. Legitimados por un despegue tecnológico incuestionable, desafían los límites de la profesión explorando campos abiertos a nuevos programas y acciones; amplían el dominio natural de la Arquitectura más allá del *objeto*(terminado) hacia el *proceso*(abierto).

Se da inicio a la tesis describiendo los antecedentes que conducen a ese escenario de cambio. Se anotan aspectos de Teoría de Sistemas, Computación, Biología y de ciertos referentes de Arquitectura con relevancia para esa nuevo planteamiento. En esos antecedentes residen los argumentos para orientar la disciplina hacia el trabajo con procesos. La línea argumental central del texto aborda la obra de Christopher Alexander, Nicholas Negroponte y Cedric Price a través de una producción teórica y práctica transformada por la computación, y examina la contribución conceptual de cada autor. El análisis comparado de sus modelos se dispone mediante la disección de tres conceptos convergentes: *Sistema*, *Código* y *Proceso*.

La discusión crítica se articula por una *triangulación* entre los autores, donde se identifican comparando por pares las coincidencias y controversias entre ellos. Sirve este procedimiento al propósito de tender un puente conceptual con el escenario arquitectónico actual estimando el impacto de sus propuestas. Se valora su contribución en la deriva del programa cerrado a la especulación, de lo formal a lo informal, de lo único a lo múltiple; del estudio de arquitectura al laboratorio de investigación.

Para guiar ese recorrido por la significación de cada autor en el desarrollo digital de la disciplina, se incorporan a la escena dos *predicados* esenciales; expertos en computación que trabajaron de enlace entre los autores, matizando el significado de sus modelos. El trabajo de Gordon Pask y John Frazer

constituye el vehículo de transmisión de los hallazgos de aquellos años, prolonga los caminos iniciados entonces, en la arquitectura de hoy y la que ya se está diseñando para mañana.

ABSTRACT

The initial premise of the thesis examines how the aftermath of second world war motivated a general revision of science and procure the basis of a new relation between mankind and its environment. Mathematics, Physics, and Biology gave birth to the Computer Sciences as a blend of different knowledge and procedures. In a time when the object of major sciences was being redefined, a few architects saw a promising opportunity for transforming the Architectural convention. By implementing the concepts, ontology and procedures of Cybernetics, Artificial Intelligence and Information Technology, they envisioned a new space for their discipline. In the verge of transgression three prescient architects proposed complete architectural systems through their writings and projects; New systems that challenged the profession exploring open fields through program and action, questioning the culture of conservatism; They shifted architectural endeavor from object to process.

The thesis starts describing the scientific and architectural background that lead to that opportunity, annotating aspects of Systems Theory, Computing, Biology and previous Architecture from the process perspective. It then focuses on the Works of Christopher Alexander, Nicholas Negroponte and Cedric Price through their work, and examines each author's conceptual contribution. It proceeds to a critical analysis of their proposals on three key converging aspects: *system*, *architectural encoding* and *process*. Finally, the thesis provides a comparative discussion between the three authors, and unfolds the impact of their work in today's architectural scenario. Their contribution to shift from service to speculation, from formal to informal, from unitary to multiple; from orthodox architecture studio to open laboratories of praxis through research. In order to conclude that triangle of concepts, other contributions come into scene to provide relevant predicates and complete those models. A reference to Gordon Pask and John Frazer is then provided with particular interest in their role as link between those pioneers and today's perspective, pushing the boundaries of both what architecture was and what it could become.

Índice

Resumen	v
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Hipótesis	3
1.2.1. Marco conceptual de la tesis	4
1.2.2. Por qué Alexander, Negroponte y Price	6
1.2.3. Por qué sólo Alexander, Negroponte y Price	9
1.3. Estructura de la Tesis	10
1.4. Metodología	14
2. ANTECEDENTES	19
2.1. SISTEMAS. Aspectos relevantes para la Arquitectura	19
2.1.1. Sistemas Complejos con resonancia arquitectónica	22
2.1.2. Arquitectura y Laboratorios de Investigación	27
2.1.3. Teoría General de Sistemas: incidencia en Arquitectura	36
2.2. COMPUTACIÓN. Aspectos relevantes para la Arquitectura	37
2.2.1. Breve Historia de la Computación	38
2.2.2. Conceptos de Computación relevantes en Arquitectura	44
2.3. BIOLOGÍA. Aspectos relevantes para la Arquitectura	49
2.3.1. Biología como ciencia de procesos	49
2.3.2. Evolución. Incidencia en diseño arquitectónico	53
2.3.3. Pensamiento Poblacional y Arquitectura	54
2.3.4. Diseño con Algoritmos Genéticos en Arquitectura	58
2.3.5. Ecosistemas. Traslación arquitectónica de argumentos	63
2.4. ARQUITECTURA	66
2.4.1. Construyendo con las Leyes de la Biología: Optimización	66
2.4.2. Diagramas y Procesos Arquitectónicos del siglo XX	69
2.4.3. Precedentes Cibernéticos y de Computación en Arquitectura	89

3. ARQUITECTURA Y MÁQUINAS	99
3.1. MODELO DE CONTRASTE: una arquitectura no computacional	101
3.1.1. Fuller y las teorías integrales	101
3.1.2. Una teoría general de sistemas desde Fuller	109
3.2. MÁQUINAS QUE GENERAN EDIFICIOS	114
3.2.1. CHRISTOPHER ALEXANDER. Lenguaje de patrones	116
3.2.1.1. Ensayo sobre la Síntesis de la Forma	119
3.2.1.2. La Ciudad no es un árbol.	123
3.2.1.3. El lenguaje de Patrones	129
3.2.1.4. El Oregon Experiment	134
3.2.1.5. ANALISIS. Sistema, Código y Proceso en Christopher Alexander	136
3.2.2. NICHOLAS NEGROPONTE. Architecture Machine	142
3.2.2.1. El proyecto SEEK	146
3.2.2.2. El Architecture Machine	150
3.2.2.3. El proyecto URBAN5	153
3.2.2.4. El experimento Cavanaugh	159
3.2.2.5. ANALISIS. Sistema, Código y Proceso en Nicholas Negroponte	161
3.2.3. CEDRIC PRICE. Arquitectura de modelos abiertos	167
3.2.3.1. Fun Palace	172
3.2.3.2. Conversation Theory con Gordon Pask	176
3.2.3.3. Potteries thinkbelt	185
3.2.3.4. Generator project con John y Julia Frazer	188
3.2.3.5. ANALISIS. Sistema, Código y Proceso en Cedric Price	199
4. DISCUSIÓN: Crítica de los autores y sus Modelos	207
4.1. Significación de Christopher Alexander	210
4.2. Significación de Nicholas Negroponte	215
4.3. Significación de Cedric Price	219
4.4. Estudio Comparado de los modelos y Contribución	223
5. Proyección en modelos arquitectónicos actuales	229
5.1. Gordon Pask y el cambio del objeto disciplinar	233
5.2. John Frazer y los Entornos Evolutivos	237
5.2.1. Computación en Arquitectura, algoritmos y otros predichos	243
5.2.2. Morfo-ecología y procesos emergentes	245
5.2.2.1. Morfogénesis, cultivo y diferenciación celular	249

5.2.2.2.	Sistemas Materiales y Fabricación digital . . .	250
5.2.2.3.	Geometría y Topología	253
5.2.3.	Diseño Orientado a Sistemas	255
5.2.4.	Diseño Orientado a lo Performativo	263
5.2.5.	Arquitectura Paramétrica. Modelos Auto-organizativos	265
5.2.6.	System City. Ciudad Emergente	272
5.2.6.1.	Ejemplo de aplicación de diseño paramétrico urbano	277
6.	Conclusiones	283
A.	Diagrama 1	289
B.	Diagrama 2	291
C.	Diagrama 3	293
D.	Diagrama 4	295
E.	Entrevista con John Frazer	297
	Bibliografía	305

Índice de figuras

2.1. Notación musical de Karlheinz Stockhausen para sus piezas <i>Cuarteto para un helicóptero</i> (1995) y <i>Kontakte</i> (1959-1960) . .	21
2.2. Minnesota Un.Thinking in systems. Buckminster Fuller Institute (2009)	22
2.3. Salman Craig, esquema de detalle constructivo generativo de fachada termodinámica. 2008	27
2.4. Joseph Paxton. Esquemas originales del sistema estructural del Crystal Palace. 1851	29
2.5. Esquema comparativo entre la estructura del nenúfar Victoria Amazónica y el detalle de sistema estructural del Crystal Palace. 1851	30
2.6. Frei Otto. Esquema del sistema estructural. Cubierta tensada del estadio de Munich. 1972	31
2.7. Louis Pasteur en su laboratorio de París, circa 1856.	33
2.8. Evolución de las políticas de investigación sobre el virus del Antrax. Institute Pasteur (1950-1996)	35
2.9. Imagen de reproducciones de la Máquina Analytical Engine circa 1850 , y la Colossus 1943 expuestas en el Science Museum de Londres (foto de la autora 2012)	39
2.10. Norbert Wiener en una clase sobre Servomecanismos en el Massachussets Institute of Technology circa 1946	41
2.11. Von Neuman, Oppenheimer y Bigelow entre otros miembros del equipo del Proyecto Manhattan en la Universidad de Princeton (1943)	42
2.12. Therese Tierney.Desarrollo de redes utilizando iteraciones sobre Automatas celulares clase 3 y 4 (Burke y Tierney, 2007) .	43
2.13. Turing Machine hacia 1943 (Turing, 1963)	44
2.14. Esquema básico del proceso de computación de Alan Turing. .	45
2.15. William Flake. <i>The computational beauty of nature</i> Esquema de adaptación programática de las plumas al medio 1998. . .	50
2.16. Charles Darwin. Esquema manuscrito de relaciones genealógicas general en el diario de 1837. <i>The axis of Evo.</i>	55

2.17. Bell, McCoy y Mushinsky. <i>Habitat structure: the physical arrangement of objects in space</i> (Bell et al., 1991)	56
2.18. Therese Tierney. <i>Leaf System</i> . Desarrollo matricial de operaciones genéticas de bifurcación de elementos ramificados (2007) .	59
2.19. Saaded Travia Schematic of the hybrid master slave genetic algorithms neural networks HGANN 2013	61
2.20. Adaptive Architectural Skins And Dynamic Environmental Conditions (2013)	62
2.21. D´Arcy Thompson On Growth and Form (Thompson y Bonner, 1992)	68
2.22. “Theater Teletype Network” Red de conexiones telefónicas entre agentes americanos en Alemania (1946). Describe el criterio de notación de la relación de nodos y enlaces.	71
2.23. Tabla de usos y clases de espacios. Grille CIAM. (1942) . . .	71
2.24. LeCorbusier montaje de esquemas geométricos de organización para la Ville Radieuse	73
2.25. LeCorbusier croquiza sobre un diagrama de funcionamiento de su Ville Radieuse	73
2.26. Diagrama de flujos para la ciudad de Philadelphia. Planta general Louis Kahn (1942)	75
2.27. Diagrama de flujos para la ciudad de Philadelphia. Desarrollo de nodos Louis Kahn (1942)	75
2.28. Diagrama de Constant Nieuwenhuys New Babilon Nord (1971)	76
2.29. Le Corbusier con Iannis Xenakis construcción del Pabellón Phillips, Bruselas (1958)	77
2.30. Iannis Xenakis estudio para una ciudad cósmica (1963)	78
2.31. Yona Friedman. L’Architecture Mobile, Plan para Paris (1958)	79
2.32. Archigram. Ilustración para el número 39 de AD (1969) . . .	80
2.33. Archigram <i>Seven</i> (1966)	81
2.34. Peter Cook. Diagrama de sistema general de suministros para la Plug-in city (1964)	82
2.35. Dennis Crompton. Diagrama generativo para una Computer City. (1964)	82
2.36. Archigram <i>Seven</i> (1966)	84
2.37. Constant. Estudio de sectores para <i>New Babilon</i> (1968) . . .	85
2.38. Ron Herron y Barry Snowden. Diagrama para el Free time node. (1966)	86
2.39. Bernard Tschumi. Diagrama generativo de movimientos. Propuesta para el concurso del Parc La Villete, Paris (1982) . .	86
2.40. Rem Koolhaas. Diagrama estratificado de programas. Propuesta para el concurso del Parc La Villete, Paris (1982) . .	87

2.41. Cedric Price. Propuesta para el concurso del Parc La Villete, Paris (1982)	88
2.42. Imagen del catálogo de la exposición Cybernetic Serendipity (1968)	90
2.43. Imagen de instalación de Pask en la Exposición	91
2.44. Diagrama según movimientos y procesos generativos. House X. Peter Eisenmann (Eisenman, 1982)	93
2.45. Diagrama generativo para la Terminal de Yokohama. Foreign Office Architects	95
3.1. Patente para la geometría de una cúpula. Buckminster Fuller 1956	103
3.2. Compendio general de recursos globales. Buckminster Fuller 1963	103
3.3. Estudio general de proporciones para la geometría de cúpulas. Buckminster Fuller 1948	105
3.4. Robert Buckminster Fuller. Representación 4D (1927)	107
3.5. Robert Buckminster Fuller. Representación del dymaxion map (1946)	108
3.6. Robert Buckminster Fuller. Operating Manual for Spaceship Earth (1969)	110
3.7. Robert Buckminster Fuller. Underlying Order in Randomness (1969)	111
3.8. Christopher Alexander. Página del estudio de caso en el apéndice <i>Notes on the Synthesis of Form</i> (1964)	122
3.9. Christopher Alexander. Diagrama de relaciones y espacios <i>Notes on the Synthesis of Form</i> (1964)	123
3.10. Christopher Alexander. Esquema de jerarquía en árbol frente a relaciones complejas	125
3.11. Christopher Alexander. Esquemas de árbol de los modelos de Tokyo y Chandigarh	127
3.12. Christopher Alexander. Esquema de árbol del modelo de Brasilia y esquema de jerarquías que conducen a esa estructura funcional	128
3.13. Procedimiento de gestión de nuevos proyectos en el Campus Oregón.	129
3.14. Christopher Alexander. Collage de los elementos descriptivos del patrón 30	132
3.15. Incorporación del lenguaje de patrones al Experimento Oregón. 134	
3.16. Procedimiento de gestión de nuevos proyectos en el Campus Oregón.	135
3.17. Evolución en el tiempo del Campus de Oregón (1972-1985-1997). 136	

3.18. Christopher Alexander. Sistemas que generan sistemas. operaciones generativas.	137
3.19. Christopher Alexander. Sistemas que generan sistemas. Ilustración inicial del libro.1968	139
3.20. Christopher Alexander:Noción de Sistema, Código y Proceso. (Paula Montoya)	143
3.21. Nicholas Negroponte: Esquema ilustrativo de la comunicación hombre-máquina	145
3.22. Intalación del experimento en la sala del Architecture Machine Group. 1970	147
3.23. Sistema de brazo móvil para operar el experimento SEEK . .	148
3.24. Nicholas Negroponte revisa la evolución del experimento. 1970	149
3.25. Uno de los “agentes” del proyecto Seek	150
3.26. La base del laboratorio Architecture Machine Group	152
3.27. Arquitectura y Componentes del URBAN5	154
3.28. Sistema de operaciones del URBAN5	155
3.29. Dibujos resultantes del URBAN5	157
3.30. GROPE era un rastreador de mapas digital.	158
3.31. Soft Architecture Machine. Fases del experimento Cavanaugh	159
3.32. Soft Architecture Machine. Traslación al lenguaje de Lloyd Wright	160
3.33. Soft Architecture Machine. Registro de actividad de procesamiento	162
3.34. Nicholas Negroponte: Noción de Sistema, Código y Proceso. (Paula Montoya)	166
3.35. Cedric Price. Diseño para el aviario del Zoo de Londres (1961)	170
3.36. Cedric Price. Imagen interior Fun Palace (1961)	173
3.37. Cedric price. Diagrama de usos del Fun Palace (1961)	176
3.38. Cedric Price. Imagen interior Fun Palace (1961)	177
3.39. Cedric Price. Imagen Fun Palace desde el río Lea (1961) . . .	177
3.40. Gordon Pask. Diagrama del principio de la Teoría de la conversación	179
3.41. Gordon Pask. Diagrama 1. Algoritmo de usos para el programa del Fun Palace (1961)	183
3.42. Cedric Price. Ubicación Fun Palace junto al río Lea (1961) . .	184
3.43. Cedric Price.Esquema de montaje de las zonas intermedias) .	187
3.44. Cedric Price. Potteries thinkbelt desde el tren de montaje (1964)	189
3.45. Cedric price. Potteries thinkbelt zona de alojamiento en batería (1964	190
3.46. Cedric Price. Generator Project (1976)	191
3.47. Cedric Price. Generator Project (1976)	192

3.48. Cedric Price. Maqueta preliminar para esquema de circuitos. Generator Project (1976)	193
3.49. Cedric Price. Generator Project,	193
3.50. Cedric Price. Imagen. Generator Project (1976)	196
3.51. Cedric Price. Esquema de ubicación de unidades. Generator Project (1976)	197
3.52. John and Julia Frazer. Esquema generativo. Generator Project (1976)	198
3.53. John and Julia Frazer. Procesador. Generator Project (1976)	199
3.54. Cedric Price. Planta del proyecto Atom.	200
3.55. Cedric Price. Dibujo de plano de transparencia en el solar. Generator Project (1976)	202
3.56. Cedric Price. Imagen del proyecto superpuesto en el árido paisaje de la comarca (1964)	202
3.57. Cedric Price. Planta de usos del Fun Palace (1961)	203
3.58. Cedric Price. Education Kit.	204
3.59. Cedric Price: Noción de Sistema, Código y Proceso. (Paula Montoya)	206
5.1. Gordon Pask. Cartel anunciador del Moon Music (1962)	234
5.2. Gordon Pask. Esquema del algoritmo de ejecución de la música en función de los asistentes (1962)	235
5.3. Gordon Pask. Education simulator (1969)	236
5.4. Gordon Pask. Esquema explicativo del conversation theory	237
5.5. John Frazer. Reptile Structural System (1966 en adelante)	239
5.6. John Frazer. Arquitectura del procesador para el Generator Project (1978)	240
5.7. John Frazer. Portada de <i>Evolutionary Architecture</i> 1995)	242
5.8. John Frazer unit en la AA. <i>Hierarchical cellular automata</i> Manjit Rastogi (1994)	243
5.9. <i>Fitness</i> Muestra del trabajo del laboratorio DDRL de la AA.	244
5.10. John Locke. Desarrollo de algoritmo genético sencillo por subdivisión sobre modelo geométrico en Rhinoceros <i>Bucky was right</i> project (2011)	246
5.11. John Locke. <i>Bucky was right</i> project (2011)	246
5.12. Ioannis Douridas algorithmic procedure based on solar exposure(2005)	248
5.13. Ahlquist, Fleischmann. Special Subdivision algorithm Emergence Seminar research (2008)	249
5.14. Gerald Marten. Human ecology <i>Basic concepts for sustainable development</i> (1989)	250
5.15. Frei Otto. Multihalle in Mannheim (1972)	251

5.16. Ahlquist, Fleischmann. matter tensional simulation (2009) . .	252
5.17. AA Emergent technologies and design group. Buro Happold. Rainwater canopy(2006-7)	255
5.18. AA Emergent technologies and design group. Buro Happold. Rainwater canopy(2006-7)	255
5.19. Yukio Miniobe. Computational Fluid dynamics through bifur- cation morphologies (2009)	257
5.20. Yukio Miniobe. Computational Fluid dynamics through bifur- cation morphologies (2009)	258
5.21. AA Pneumatic strawberry. Research-Achim Menges (2003) . .	259
5.22. Christina Dompioti parametric fibre stress dissertation (2008)	260
5.23. Giga mapping (2009)	261
5.24. NORDES. Birger Sevaldson Giga mapping (2013)	262
5.25. John Locke. Grasshopper (2013)	266
5.26. Portada de la revista Spazio, (1960)	267
5.27. Luigi Moretti. Proyecto para estadio. Triennale de Milano (1951)	267
5.28. Joan Busquets and Felipe Correa (2006)	274
5.29. Daniel segraves, Data city, Urban energy data model Chicago (2011)	275
5.30. Moussavi, Nasser. AA Emergent Technologies(2010-12) . . .	276
5.31. Diagrama del entorno Urbano en Arganzuela 2013	278
5.32. Incorporación de parámetros del taller. Arganzuela 2013 . . .	278
5.33. Definición de Grasshopper del modelo de estudio. Arganzuela 2013	280
5.34. Poster congreso Viena	281
E.1. John Frazer en la Royal Society of Arts. (2015)	304
E.2. John Frazer y Paula Montoya en la Royal Society of Arts. (2015)	304

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

La presente tesis doctoral persigue el objetivo de determinar los efectos que para la Arquitectura tiene la incorporación de ciertos conceptos y procedimientos procedentes de la Computación. Para ello se concentra en la etapa histórica en torno a las décadas de los años sesenta y setenta cuando se produce un entrelazamiento disciplinar entre una cibernética entonces emergente, que arrastra conocimiento de varios entornos científicos, y una sólidamente establecida Arquitectura, con cierta disposición al cambio.

Este trabajo se interroga sobre las transformaciones que se operan en la disciplina como resultado de la exposición a esos modelos científicos con los que interactúa, e indaga en la proyección de tales cambios en el modo en que la Arquitectura opera en nuestros días.

La hipótesis inicial de esta investigación se apoya en la consideración de las dificultades que entraña acometer la tarea de construir el entorno del hombre de manera aislada, ajena a otros procesos y conocimientos científicos que están siendo objeto de evolución. En una etapa de complejidad creciente, la incorporación de procedimientos plurales aporta garantías para acometer el oficio de la Arquitectura desde una posición integral y dinámica, acorde a necesidades globales en transformación. El proceso de *digitalización* del conocimiento y la creatividad humanas proporciona esas nuevas maneras de articular dos materias fundamentales de la arquitectura: espacio e información. Genera una dotación no sólo de nuevos instrumentos sino de conceptos disciplinares *aumentados*, ensanchando el objeto de la realidad por construir.

A lo largo del presente trabajo se rastrea cómo la amplia comunidad de actores que diseñan el habitat humano ha ido entrelazando diversos conceptos ontológicos y procedimientos de trabajo. Proporciona argumentos de apoyo a la pertinencia de incorporar y desarrollar préstamos que provienen de la computación, la tecnología de la información, la teoría de sistemas y la biología.

Es un proceso que comenzó a darse hace medio siglo, y que está ahora inmerso en un momento de aceleración instrumental y conceptual. En la actualidad la ciencia, la forma más rigurosa del conocimiento, diluye las fronteras de su ámbito de trabajo: destierra la idea de pureza aislada y reconoce en los territorios compartidos con disciplinas especulativas (y de algún modo, creativas) el lugar donde se genera el conocimiento.

En este escenario de cambios radicales en el modo en que el ser humano habita el planeta, se vislumbra una re-formulación de cómo se construye ese entorno habitable, desde la condición de garantizar el futuro del mismo. Este trabajo indaga en el origen de este fenómeno identificando gramáticas y procedimientos que indujeron la delimitación actual.

Tal y como describe Melanie Mitchel en su trabajo esencial sobre la complejidad como disciplina integradora de ciencias, puede asimilarse el escenario de cambio en los aspectos instrumentales a lo acontecido en la época de grandes definiciones mecánicas de Newton.

*Para el desarrollo profundo de una disciplina científica era necesario la invención del léxico capaz de darle estructura. Antes del desarrollo formal del cálculo infinitesimal, Isaac Newton se enfrentó a un problema conceptual similar al que nos enfrentamos hoy. La certeza de tener que construir un paradigma completo de un nuevo objeto, sin dominar la gramática que lo hace posible. Hasta no desarrollar el lenguaje para ello, no le fue posible articular el completo de sus teorías y experimentos prácticos. Aunque el cálculo infinitesimal e integral ya existían en matemáticas su aplicación práctica no se ejercía sino de un modo fragmentado. Newton fue capaz de establecer esas nuevas conexiones y construir un edificio de coherencia y unidad y elevándolo a la generalidad. Dicho edificio permitiría a Newton desarrollar toda una estructura de la Mecánica.*¹

Un proceso similar está teniendo lugar en arquitectura, que reconstruye su gramática para enfrentarse a los retos y las necesidades de un mundo en rápida transformación. La incorporación de factores nunca antes involucrados en el diseño arquitectónico como las herramientas evolutivas, la fabricación digital o los procesos de gestión dinámica de datos, demandan planteamientos de amplio espectro para diseñar y construir, que requiere una gestión distinta del territorio y de los recursos, de las poblaciones y del modo en que se da servicio a las ciudades.

Una última reflexión es necesaria en esta descripción de la motivación del presente trabajo doctoral: Acometer un trabajo que tiene una de sus bases en la descripción de un estado de *avance tecnológico*, es un ejercicio no exento de riesgo. Esto se debe a que nace con cierta obsolescencia dado que sólo puede aspirar a la descripción de un estado científico pasajero. Aún a pesar

¹ En Mitchel, Melanie, *Complexity, a guided tour* : corresponde a la matemática formal de orden dinámico con el desarrollo de herramientas de cálculo infinitesimal, integral o la noción de límite

de que esta condición hace difícil evaluar los efectos a largo plazo, es posible anticipar los rasgos y tendencias que contribuyen al avance de posiciones en el devenir de un conocimiento, que sí permite vislumbrar su significación esencial.

1.2. Hipótesis

El contacto de la Arquitectura con los avances en Computación en la década de los años 60 tuvo un impacto transformador sobre el marco conceptual e instrumental de la disciplina, cuyo efecto se ha desplegado en el modo en que se hace arquitectura en la actualidad.

A partir de esta hipótesis, el trabajo desarrolla el estudio de unos autores concretos, para alcanzar una posible formulación explícita de lo que ha supuesto este cambio conceptual.

Para ello identifica la incidencia de la computación en la transformación del paradigma arquitectónico en cuanto al programa, la figuración y los modos de construir. Medio siglo después de iniciarse el proceso, se evidencia en una mezcla ponderada de teoría y práctica de los procedimientos de la Arquitectura.

Tal y como se enuncia en el preámbulo, el despertar tras la contienda de la Segunda gran Guerra mundial asiste a la puesta en crisis de muchos de los modelos funcionales del hombre, en el que las ciencias, comienzan a abrir caminos transversales de investigación. La circunstancia geográfica consecuencia de lo anterior, produce un fenómeno de “agrupamiento” académico consistente en que muchos de los más prominentes científicos europeos se refugiaron en instituciones universitarias Británicas y Americanas. Este escenario contribuyó a propiciar este clima de intercambio.² Una considerable parte de la comunidad científica se aventura en incorporar aspectos de otras “materias” con las que tradicionalmente no habían explorado mecanismos de intercambio. Ello propicia una convergencia de disciplinas científicas en busca de un territorio de transformación compartido, donde la física y la biología indagan en un nuevo corpus de conocimiento apoyándose en la matemática como lenguaje y en los procedimientos “computables” que de ello emanan.

Ese período histórico marca el inicio de una radical transformación en el modo en que las ciencias planifican su propio desarrollo. Se produce un cambio sistémico del conocimiento desde un planteamiento integrador al que no será ajena ninguna disciplina teórica o empírica. Esto contamina a la filosofía, la economía, la sociología, y de modo transversal, a la arquitectura. Surgen nuevas disciplinas, por combinación de las anteriores o de nueva generación, que comparten la computación como lenguaje común, lo que posibilita una nueva estructura ontológica.

²Ver capítulo 2.2.1 *Historia de la computación*, donde se describe el entorno de los grupos de investigación de Wiener y Openheimer

Al hilo de ese planteamiento, algunos arquitectos de ese momento movidos por la convicción de que la arquitectura tenía responsabilidades tecnológicas, se aventuraron a incorporar conceptos de esas otras disciplinas en transformación; orientan su esfuerzo a la generación de arquitecturas como sistemas complejos no lineales, con atributos de sistemas abiertos, que por ello se equiparan a procesos, realidades de carácter dinámico. Todo ello desde una posición temprana de un uso responsable de los recursos disponibles, como objetivo para hacer avanzar el arte de construir.

Uno de los principales argumentos de este ensayo doctoral es la afirmación de que el poder de las computadoras, en su acepción más amplia posible conceptual e instrumental, ha permitido comprimir espacialmente el tiempo y comprimir temporalmente el espacio.

La gradual incorporación de la computación en el desarrollo de la arquitectura ha hecho posible construir modelos de enormes elementos arquitectónicos ocupando muy poco “espacio” en el computador; en poco tiempo es posible modelar ciudades completas junto a los territorios que las conectan, operando virtualmente sobre sus patrones de crecimiento. Del mismo modo, en una computadora podemos construir simulaciones que nos muestran de modo acelerado la evolución de esas construcciones a lo largo de prolongados períodos, simulando así procesos de evolución en una compresión del tiempo.

Como se analiza a lo largo de este trabajo, las transformaciones disciplinares que emanan del uso del procesamiento digital, no sólo ensanchan el umbral técnico del hecho constructivo sino que contribuyen a transformar desde el punto de vista de la figuración y el programa, el modelo social que puede proponer la disciplina. La arquitectura como materia viva, evolutiva, anticipa un cambio radical en el modo en que se concibe el habitar, regenerar y gestionar los recursos del planeta.

1.2.1. Marco conceptual de la tesis

La relación entre arquitectura y ciencia es una historia de entrelazamiento que sólo en las últimas décadas se ha consolidado en una relación estable de conceptualización y producción a través de herramientas digitales comunes. El hecho de construir el entorno del ser humano se ha alejado del hecho estricto de diseñar componentes, definir tipologías o elegir una forma. Se concentra ahora en definir un ámbito (mucho más amplio que el mero edificio), donde el arquitecto establece nuevas relaciones entre información y materia, diseñando las condiciones en que se inserta una construcción.

Podemos datar el inicio de esta nueva relación a finales de los años cincuenta en los cuales la arquitectura se aproxima a las teorías científicas que explican el mundo a través de procesos.

Amparadas en este escenario de cambio, surgen posturas transgresoras que intentan operar más allá de las normas establecidas, abordando la Arqui-

tectura mediante el desplazamiento de los límites disciplinares. Cuestionada por otras profesiones y una cultura conservadora, la arquitectura podía sentir el riesgo de perder su posición prominente como disciplina integral de arte y ciencia, con múltiples inserciones y enlaces externos en la sociedad. Este nuevo campo de operaciones, propicia que el peso del empeño arquitectónico se traslade del objeto al proceso, de la certeza a la especulación, y de lo formal a lo informal, proporcionando argumentos críticos y constructivos para propiciar el cambio.

Durante las décadas de los años sesenta y setenta, una serie de arquitectos se proponen acometer un nuevo modo de formular y diseñar arquitectura basado en esa incorporación conceptual e instrumental. Aquellos arquitectos, desde planteamientos minoritarios (a menudo contestados por un entorno disciplinar inmóvil), trazaban rutas para la innovación cuyo contenido y procedimiento se ha demostrado determinante para evoluciones posteriores. El objeto de esta tesis es analizar y comparar los modelos desarrollados por Christopher Alexander, Nicholas Negroponte y Cedric Price que, aunque comparten un campo de interés común, evolucionan en direcciones muy diferentes. Permitirá así rastrear la riqueza y influencia de los mismos en la definición de muchas de las leyes del diseño arquitectónico actual.

Se han denominado *modelos*, dado que no responden ni a una teoría, ni a un tratado, ni a un manifiesto sobre arquitectura; se trata del compendio de obras teóricas, experimentales o constructivas que muestran el modo en que la posición vital de cada uno de los autores incorpora el trabajo con computación y ciencias de la información para trabajar con ellas en el ejercicio de diseñar arquitectura.

El primero de los modelos que se analiza, parte de la elaboración de un inventario de soluciones arquitectónicas formuladas como “patrones universales” con vocación de ser aplicados a cualquier escenario humano real; un sistema completo que asocia cualquier cuestión genérica de diseño a un “problema” con solución específica. Un proceso basado en los procesos de computación procedentes de procedimientos automatizados.

El segundo de los modelos exploraría, un desarrollo marcadamente instrumental basado en la cooperación entre el hombre y las máquinas, inmerso en replicar la capacidad de diseño creativo de un espacio arquitectónico, de manera asistida: determinar si esa herramienta era más natural o artificial, se convertiría en objeto de múltiples tentativas experimentales.

A diferencia de las anteriores, un tercer modelo de investigación se centraría en la indeterminación como resolución de una cuestión arquitectónica: anticipa un cambio en el programa arquitectónico que se formula desde planteamientos abiertos, contemplando el objeto arquitectónico como familia de soluciones sin una forma final definida.

Común a esas tres líneas de trabajo se identifican tres descriptores que permiten medir la relevancia conceptual de cada uno:

El primer descriptor se refiere a una transformación formal combinando procesos discretos (de arquitecturas por elementos autónomos) y continuos (referidos a la inserción en un entorno), lo cual propicia un campo de figuración innovador.

El segundo descriptor propone una nueva relación con la ingeniería y la industria en materia constructiva con una gestión racional de materia y energía diseñando en función de ciclos vitales completos.

Finalmente, el tercer descriptor se refiere a la construcción de un espacio participativo de trabajo, que avala el diseño y uso colaborativo, que amplía radicalmente el concepto de objeto arquitectónico, acercándolo a la noción de “acontecimiento”.

Aún a pesar de sus claras diferencias de concepto, todos estos modelos compartían una misma condición de partida: para implementar un entorno de trabajo innovador era necesario dotar a los arquitectos de herramientas avanzadas y del lenguaje que les permitiera “programarlas”, adaptándolas a sus necesidades. Ya no se trataba de perfeccionar un modo de ordenar instrucciones o un sistema de representación de las mismas, sino de desarrollar herramientas *generativas*. Del mismo modo, la construcción de una nueva relación con las máquinas, con matices personales, colaboraría a crear un espacio de trabajo del arquitecto concebido en plural, desde la participación y el aprendizaje continuado.

Como línea de articulación del presente trabajo, la afirmación de la condición de *sistema* inherente a la arquitectura, dicta el marco conceptual completo de esta tesis. El trabajo de arquitectura que aquí se presenta, se centra así en el desarrollo de un “sistema que permite generar sistemas”.

De manera coincidente con el desarrollo de las ciencias de la computación, la cibernética y la inteligencia artificial, dicho posicionamiento permite indagar en los modelos que anticiparon sistemas capaces de generar arquitecturas de un modo integral, automatizar procesos generativos, y reproducir de manera artificial ciertos procesos naturales. Para ello fue necesaria la construcción de ontologías comunes entre ambos sistemas de información.

1.2.2. Por qué Alexander, Negroponte y Price

El modo en que esta tesis plantea corroborar la hipótesis inicial es mediante el análisis de tres autores que desarrollan cada uno de un modo personal, un modelo teórico de y un método de implementación de la computación resultando en prácticas arquitectónicas, cada una con identidad propia. A lo largo del capítulo principal de la tesis, se analiza cada uno de los *modelos* que participan de una fascinación por el desarrollo de sistemas distintos de acometer sus arquitecturas; se ha denominado el campo semántico común como ***máquinas de hacer arquitectura*** aunque esta nomenclatura se refiere al modo en que cada uno de ellos desarrolla su propio concepto de *Sistema* en

arquitectura, de *Código* y de procedimiento de trabajo, que hemos llamado *Proceso*.

Los modelos desarrollados por Christopher Alexander, Nicholas Negroponte y Cedric Price comparten de manera única la condición de incorporar la computación y la inteligencia artificial a su ejercicio; aunque ninguno de esos procesos responde de una búsqueda deliberada del lenguaje digital (en aquel momento, carente de definición) coinciden en un punto de inserción común: detectan el potencial transformativo para la disciplina de la arquitectura de los procedimientos de la computación. Se les ofrece un espacio conceptual nuevo que puede incorporarse al espacio arquitectónico de muy variadas maneras, con herramientas inéditas al servicio de sus propósitos particulares.

Es en ese momento, en el que estos arquitectos plantean propuestas teóricas, y en ciertos casos utópicas, de desarrollo de construcciones abiertas, evolutivas, y adaptables a distintos contextos. A través del análisis de los modelos se explica la relevancia de este replanteamiento, concebido como optimista posibilidad de cambio de orientación de la arquitectura más que como una calculada transgresión del patrón disciplinar canónico.

Este aspecto es esencial puesto que el interés en la computación deriva en cada uno de los casos, de motivaciones personales que poco tenían que ver con lo digital a priori. Sin embargo, gracias a ese encuentro con ciertos conceptos o herramientas, el *espacio computable*, con sus nuevos atributos, se convierte en estructura esencial de su pensamiento arquitectónico.

En ninguno de los autores hay una voluntad epifánica de utilización de las herramientas; más bien se trata de una alianza afortunada que dicta un giro en unos objetivos previamente trazados. Esta condición es común a los tres y genera, magníficos y diversos modelos de espacio y organización, desde una intuición anticipatoria y generativa, aunque evidencia el hecho de que las herramientas no habían hecho más que empezar a transformar la disciplina en sus principios fundacionales. En el caso de Alexander, se trata de articular un compendio de patrones espacial sin organizar, según un lenguaje matemáticamente incontestable. El modelo de Negroponte, está gobernado por una fascinación por la tecnología y el espacio como experimento. En Cedric Price, que notoriamente declararía su escaso interés por los ordenadores, es un vehículo para implementar proyectos indeterminados y abiertos impulsados por su auténtico interés: desarrollar arquitectura como agente de transformación social.

La elección de estos tres autores está fundamentada en esa pluralidad que aporta argumentos y material de análisis lo suficientemente dispar aunque representativo de una actitud común que permite la posterior definición de la arquitectura digital. Por ello se exponen desde un planteamiento de validación triangulada de la hipótesis de este trabajo. En todos ellos se dan fenómenos de cesión, de los que emergen argumentos ontológicos que re-

definen tres nociones que relacionan la disciplina de la arquitectura con la computación:

Sistema Implica el despliegue del conjunto de relaciones que organizan un diseño, identificando de manera innovadora los enlaces entre materia e información.

Código establece una nueva relación con lo computacional que significa transcribir en una notación comprensible para todos los agentes de la construcción la información simultánea de diseño y de proceso . Se codifica de un modo tal que aun encriptada según registros tecnológicos, pueda descodificarse para llevar unas instrucciones a la realidad.

Proceso se convierte en el objeto disciplinar y el campo de operaciones para de la teoría y la realización arquitectónicas de los mismos.

Una última reflexión es oportuna con respecto al cambio que se opera en ese determinado momento histórico en el *modus operandi* del trabajo de los arquitectos. Muchos técnicos adquieren conciencia de que es necesario ampliar la comunidad de agentes que participan en la construcción de arquitectura, para dar respuesta a un programa arquitectónico y social cada vez más complejo. Los requerimientos técnicos se habían diversificado de tal modo que los propios responsables del diseño y la puesta en obra, precisaban de la colaboración de expertos en matemática, física, ingeniería y computación, para el buen desarrollo de sus investigaciones.

Esta dinámica plural, recurrente en cada uno de los tres autores estudiados, propició la incorporación de expertos en disciplinas hermanas. Todos ellos trabajaron desde la creación de verdaderos laboratorios colectivos, que servían al propósito de incrementar la versatilidad y solvencia técnica de sus estudios.

En este trabajo doctoral se expone esta cuestión identificando y estudiando a dos profesionales con los que todos ellos colaboraron y que desempeñan en este estudio el papel de agentes de enlace. Gordon Pask, programador y John Frazer, arquitecto experto en computación, son estrictamente contemporáneos de Alexander, Price y Negroponte. Se entrelazan a través de lo que hemos considerado solapes operativos ya que transforman o matizan los modelos propuestos por cada uno de ellos. Operan como instrumento para el estudio comparado de los modelos, en el campo de lo participativo y son el vehículo de proyección del trabajo de los tres autores; portadores de criterios, ideas y procedimientos que transmiten a la siguiente generación de arquitectos, y que acaban delimitando el modo en que hoy en día conviven arquitectura y computación.

El análisis de Pask y Frazer cierra la argumentación mediante el estudio de la proyección en modelos actuales en una acepción evolutiva de lo digital . Gordon Pask redefine la relación entre arquitecto y tecnología, a través de la elaboración de nuevos lenguajes que operan con el *espacio* de modo genérico; John Frazer, aporta una contribución esencialmente instrumental

puesto siendo agente transmisor de dichas teorías en las cuestiones de procesos abiertos que hoy constituyen la práctica digital de la arquitectura. A través de colaboraciones cruzadas, es posible rastrear la relevancia de Alexander en la gestión de estructuras semánticas en arquitectura; la contribución de los laboratorios de Negroponte sentando las bases de los de los lenguajes gráficos asistido por ordenador; La trascendencia de Price desplegada en un nuevo código del dibujo arquitectónico, el aspecto social de la participación, y los programas indeterminados y abiertos en arquitectura.

De su colaboración con Pask y Frazer, resultan magníficos ejemplos de arquitectura en su forma *aumentada*, que aunque no construidos, forman merecida parte de una historia digital de la disciplina en el siglo XX.

Finalmente, el legado de los tres autores puede trazarse desde la década de los noventa, a lo largo de una serie de transformaciones que permiten a los arquitectos intervenir directamente en la gestación no sólo de sus edificios como procesos, sino en el diseño del proceso en sí. Proliferan hasta nuestros días autores que elaboran sus propias herramientas que adaptan a cada una de sus necesidades. Son los precursores del momento de desarrollo de la arquitectura digital actual que se construye sobre programas de desarrollo geométrico sofisticado, basado fundamentalmente en planteamientos evolutivos. Se han asentado firmemente las bases para el trabajo con parámetros vinculados, que se extiende de los edificios a las ciudades, y permite el dominio del proceso constructivo incorporando la fabricación digital; el arquitecto vuelve a trabajar de manera participada con diseñadores de sistemas, ingenieros, y ecólogos, entendiendo el edificio como la suma de estados intermedios en un medio material enlazado.

1.2.3. Por qué sólo Alexander, Negroponte y Price

Los autores estudiados, de discreta repercusión en la historia de la arquitectura construida en el entorno de las décadas 60 y 70, han sido elegidos porque insertan en su ejercicio procedimientos propios de la computación, aportando una nueva definición de las nociones de sistema, proceso y código arquitectónicos. Enuncian y preparan las premisas de evolución del modo de generar arquitectura y ciudad proyectando el efecto de sus hallazgos más allá de su tiempo. Su trascendencia se evidencia a través de un linaje arquitectónico que ha aflorado a lo largo de años de proceso de digitalización; se demuestra hoy esencial para una transformación genética de la arquitectura.

Es pertinente en este punto explicar las razones por las que se ha eludido la inclusión de otros arquitectos o modelos coetáneos. Las esenciales contribuciones a la historia de la arquitectura contemporánea que se producen en esos años son incuestionables. Sin embargo, si pensamos en los planteamientos de maestros trabajando en su madurez en aquel momento como Alvar Aalto, Mies van der Rohe, u Oscar Niemeyer, éstos se cifran en parámetros muy distintos a los que refiere este trabajo. Aunque otros autores tantearan

para proyectos específicos nuevos lenguajes basados en procedimientos de validación y ejecución desde la matemática pura, como es el caso de Kenzo Tange o Jorn Utzon ninguno pretende una transformación esencial en la arquitectura concebida como disciplina de procesos. Los planteamientos constructivos y tecnológicos se establecen orientados al objeto arquitectónico como entidad definida en términos materiales estables, finitos y canónicos.

Es claro que la arquitectura de Cedric Price o Christopher Alexander o el propio Negroponte, no emerge de manera aislada. Tal y como se explica en la introducción de los antecedentes arquitectónicos, se muestran ejemplos concretos que sí suponen un referente útil por razón de transformación en el procedimiento o en los códigos arquitectónicos. Las referencias a otros maestros operantes en ese momento, se acotan limitándose a lo que explícitamente tienen de *proceso* algunos de sus proyectos; ciertos documentos con voluntad de *diagrama* donde algunos de los grandes arquitectos de la historia de la arquitectura del siglo XX, como Le Corbusier, o Louis Kahn, sirven al propósito de trazar una línea argumental de comparación con el trabajo de los modelos desde planteamientos dinámicos.

Otro espectro de influencia sí puede identificarse en ciertos autores coetáneos como es el caso del Team X, los Metabolistas japoneses o las propuestas utópicas de los años 60 como Archigram, Yona Friedman, Constant y los Situacionistas que participan de un demarcado interés por lo que está ocurriendo en el nuevo orden social y tecnológico; en algunos casos se adentran en el mundo de los ordenadores aunque desde una actitud de acompañante curioso mas que como desarrollador. La contribución de todos ellos a diseñar el panorama arquitectónico desde el planteamiento estrictamente disciplinar queda enunciado en el capítulo de antecedentes arquitectónicos.

Aunque se han omitido conscientemente aquellos personajes que no han contribuido a anticipar los procesos computacionales, el método de la tesis plantea como esencial el *análisis local* de un **modelo de contraste** con suficientes parámetros operativos de comparación. Se ha elegido la figura de Robert Buckminster Fuller en su dimensión estricta como redactor de una Teoría General de Sistemas, que establece una línea argumental directa para la comparación. Se analiza su obra poniendo el foco en los tres parámetros de análisis de forma paralela con los autores principales: por un lado su visión generativa de sistema, el concepto de proceso implícito en sus proyectos de ámbito global, y su modo de tratar con los códigos de dibujo, instrucción y códigos arquitectónicos en los proyectos referidos.

Servirá esta dinámica para dar asiento a los argumentos cualitativos de otros modelos arquitectónicos con aproximación computacional.

1.3. Estructura de la Tesis

Tras la introducción, la tesis se estructura del siguiente modo:

ANTECEDENTES.

Tras el planteamiento de la hipótesis del trabajo, se describen los antecedentes que serán necesarios para una mejor comprensión de la contribución y la discusión.

Este apartado, de notable peso en el conjunto de la tesis, está apoyado en una necesidad de describir el escenario de conocimiento vinculado en que se encuentra la arquitectura de mediados del siglo XX. Todos y cada uno de los conceptos que se describen tienen una significación precisa de modo que pueden rastrearse sus inserciones en el código genético de la arquitectura.

Los antecedentes están descritos según los ámbitos disciplinares que tienen relación con la hipótesis principal del texto: por un lado el ámbito externo que comprende la Teoría de Sistemas, la Computación, y la Biología, y por otro lado del ámbito propio de la Arquitectura en aquellos aspectos que anticipan los *procesos* que componen el desarrollo central de la tesis.

Los antecedentes de orden arquitectónico son tratados con una consideración especial: Resulta evidente que no es operativo trazar todas las influencias intelectuales, artísticas y tecnológicas que perfilan el trabajo de los autores en estudio ya que resultaría en una tesis excesivamente extensa. Sí parece pertinente exponer la relación de los contenidos científicos que son adoptados por cada uno de los arquitectos, y los antecedentes arquitectónicos que aportan argumentos en esa elección.

El primer epígrafe explica la Ciencia que opera con Sistemas, donde se enuncian las características de los sistemas complejos, los laboratorios interdisciplinares, y se describe una Teoría General de Sistemas tal y como fue enunciada en los años sesenta por Robert Bertalanffy. El impacto en arquitectura reside en que establece un mapa de aspectos esenciales de la Complejidad que aporta un formato plural de trabajo, y enmarca el concepto ampliado de laboratorio como el espacio en el que desarrolla su labor el arquitecto.

El segundo epígrafe tiene que ver con la Ciencia de la Computación y describe un recorrido histórico del desarrollo de la disciplina tal y como emana de la matemática y la física, para poder describir el salto conceptual que se produce en la gestación de una nueva materia científica y en sus principios fundacionales. Se ha estimado esencial ubicar desde el punto de vista histórico y como marco ontológico, aquellos hallazgos en el campo desde finales de los cuarenta, y su relación con algunas de las teorías allí descritas. Se establece así, un recorrido a modo de glosario, facilitando su uso como guía, de las nociones de Cibernética, Inteligencia Artificial, Algoritmos genéticos, Teoría de Patrones de diseño, Autómatas Celulares, Teoría de la Información, Teoría de juegos, Teoría de Redes y Teoría de Grafos. Espacios conceptuales que aportan a la arquitectura la arboladura instrumental necesaria para su evolución.

En el caso de la Biología, el material de antecedentes se ha ceñido a cier-

tas teorías de sistemas y de entornos evolutivos, para poder comprender la relevancia de la adaptación y variabilidad poblacional en entornos computacionales. Se incide en cuestiones vitales que operan en arquitectura: se realiza un recorrido a través de conceptos como adaptación, optimización y evolución, anticipando nociones que se manejarán en arquitectura evolutiva. Se apuntan nociones sobre genética y pensamiento poblacional en preparación del significado de *diversidad* en arquitectura. Finalmente se describen aquellas propiedades de un ecosistema que tienen una traslación directa al diseño arquitectónico.

La sección principal de los antecedentes, los que remiten a la Arquitectura, se centra en aquellas aproximaciones que acreditan el incremento de peso arquitectónico del proceso. Se describen algunos ejemplos que en la primera mitad del siglo XX apuntan cuestiones sobre arquitectura abierta en documentos “diagrama”, que se revelan vitales para la posterior generación de proyectos: una relación de arquitecturas con voluntad de sistema variable. El compendio de referencias arquitectónicas se cierra con un recorrido histórico de la significación de la *cibernética* en arquitectura; desde los años cincuenta, en que tal denominación acumulaba el significado completo de la computación, a lo largo de los sucesivos procesos de *digitalización* de las décadas, hasta el estallido actual del entorno computacional que inunda todos los procedimientos de la disciplina.

CONTRIBUCIÓN PRINCIPAL

Se subdivide el Corpus central en dos partes.

Modelo de contraste.

En una primera parte, se explica brevemente el modelo de contraste elegido para analizar un planteamiento de trabajo que aunque de una trascendencia fundamental, difiere en lo esencial con los modelos en estudio, lo cual permite identificar las características que comparten dichos modelos. El objetivo de este análisis contrastado es plantear las bases de la discusión posterior. Se ha elegido un arquitecto contemporáneo a todos ellos, de una especial trascendencia en la contribución a la Historia disciplinar a lo largo del siglo. Aunque Robert Buckminster Fuller es un personaje complejo y rigurosamente polifacético, y es posible identificar una serie de indudables similitudes y coincidencias con los tres autores principales, no comparte el interés esencial en la incorporación de una Inteligencia Artificial al desarrollo de su actividad arquitectónica. En este epígrafe se demuestra por qué Fuller aun siendo autor de su propia Teoría General de Sistemas, trabaja sobre la base de sistemas cerrados, determinados y no evolutivos.

Desarrollo principal.

La segunda parte procede al desarrollo ordenado de los tres modelos con el objetivo de corroborar la hipótesis. Cada autor se expone siguiendo un esquema paralelo: Se da inicio con un marco social y académico de los orígenes y desarrollo profesional de su carrera; a continuación se explican

las principales contribuciones de su trabajo siguiendo el tema enunciado de esta hipótesis, desde el análisis de elaboraciones teóricas y sus acercamientos experimentales y o empíricos, fundamentados en escritos, proyectos y en su caso, obras.

La parte central de cada uno de estos apartados en paralelo reside en la comparación de las propiedades esenciales que cada autor atribuye a los conceptos de sistema, código y proceso en su arquitectura. Este análisis, verdadera contribución de la tesis, se articula mediante la elaboración de mapas conceptuales, gráficamente análogos para Alexander, para Price y para Negroponte, en aras del contraste, que describe minuciosamente cada modelo disciplinar referido a unas coordenadas temporales.

DISCUSIÓN: Crítica a los autores y sus Modelos.

Este apartado de la tesis establece los rasgos fundamentales extraídos del análisis y los compara de manera individual con la hipótesis de la tesis. Se establecen los parámetros identificativos de cada autor para evaluar su trascendencia en una comparación inter-pares siguiendo un procedimiento de triangulación cualitativa. Para verificar los argumentos esenciales se realiza una discusión crítica de los tres en conjunto, volviendo a revisar los parámetros de contraste descritos al principio del punto tercero.

Finalmente se procede a un estudio comparado por el cual se ejerce la crítica a la preponderancia de las conclusiones o la significación de algunos autores con respecto a otros. Este método permitirá exponer la validación general del planteamiento de la tesis.

PROYECCIÓN en modelos arquitectónicos actuales

La parte central de la discusión anticipa el grado de afección o impacto que esos autores han supuesto para la arquitectura que estamos concibiendo y construyendo en nuestros días.

Por un lado se explicará la relación de Alexander con la actual teoría de patrones en el diseño orientado a objetos, sistemas generativos, y el Diseño orientado a Sistemas, con especial consideración por ciertas cuestiones de diseño urbano.

La contribución de Negroponte ha modelado los lenguajes gráficos, la relación con un instrumento con capacidad de decisión artificial, además del concepto de simulación y arquitectura dinámica, origen de ciertos aspectos de la arquitectura paramétrica. Es el origen del establecimiento del experimento permanente que anticipa un nuevo espacio proyectivo del arquitecto

En el caso de Cedric Price su trascendencia se despliega en aspectos de arquitectura abierta que trabajo desde supuestos de indeterminación. De la teoría de la conversación en la que trabaja con Gordon Pask, derivarán procedimientos vinculados de diseño dinámico; de su trabajo con John y Julia Frazer surge el desarrollo evolutivo de una arquitectura basada en la adaptación y la incorporación de procesos generativos, siendo el más común el de los algoritmos genéticos.

Se estudian así varias líneas de trabajo vinculadas a laboratorios de investigación y praxis. Por un lado, la investigación de generación material a través de la *Morfo-génesis y procesos emergentes* originada en la Architectural Association de Londres, con una amplia proyección en el ámbito de la fabricación digital.

Otro ejemplo, una investigación centrada en procesos más amplios orientados al *Diseño orientado a Sistemas* y *Diseño orientado a lo performativo* impulsada por varios equipos ubicados en distintas instituciones europeas, como el grupo adscrito a de la Universidad de Oslo.

Una tercera línea, se adentra en el campo del *Diseño Paramétrico* como origen de procedimientos entrelazados. De ello deriva el desarrollo de la arquitectura como un modelo auto-organizativo *Autopoiesis* establecido como ámbito de investigación por Patrik Schumacher. El enlace natural de un territorio aumentado para la arquitectura encuentra un espacio único de diseño en el territorio de solape entre computación, arquitectura y gestión de la información. El laboratorio de trabajo del *MIT Design and Computation Group*, establece investigaciones desde un departamento abierto de la facultad de Arquitectura.

Se culmina el capítulo con una descripción de incursiones del tratamiento de diseño evolutivo, paramétrico y dinámico en el diseño y estudio de la ciudad. Se trata de una manera posibilista de finalizar la exposición de la tesis, en un planteamiento de las posibilidades que se abren ante el ejercicio de los arquitectos, íntimamente entrelazado al destino de las ciudades. Ciudades entendidas como entidades dinámicas, biológicas, expuestas a fenómenos de emergencia fácilmente modelables gracias a las dinámicas que nos ofrecen los computadores.

CONCLUSIONES

El capítulo final de la tesis establece en grado de tentativa el grado de verificación que puede entenderse de la hipótesis inicial. Se procede a recopilar los enunciados los aspectos esenciales que se planteaba en origen, y se formulan argumentos con vocación de corroborar los postulados. Pero también recoge las conclusiones no esperadas y que pueden inferirse del desarrollo del propio trabajo doctoral. Se enuncia una posible forma de evolución del tema lo cual supone una evaluación crítica del propio trabajo, reflejando los conceptos que podrían suponer un desarrollo futuro.

1.4. Metodología

El procedimiento metodológico de la tesis, podría definirse como una arandura en base tres se establece en planos paralelos:

La relación de antecedentes abre tres líneas argumentales: el relativo a procesos naturales en biología, *procesos* artificiales en computación, y a la articulación de los mismos según un determinado *sistema* a través de una

codificación de los instrumentos disciplinares; Conceptos que se rastrean en los tres autores elegidos para el análisis.

En otro nivel, que se aplica a la discusión, el método empleado sigue la metodología de análisis de procedencia sociológica de N.K. Denzin ³. El sistema establece una triangulación metodológica *inter-método* de orden inductivo por paralelismo entre pares. Este sistema denominado de *Cual a Cuan*, prima los aspectos cualitativos con respecto a los cuantitativos. ⁴

Aunque adolece de uno de los criterios de evaluación, debido a la ausencia de directrices para determinar la convergencia de los resultados, sirve al propósito de estructurar un método aplicado de comparación. No busca una validación de datos estadísticos ni verificación de un resultado sino que contrasta dos a dos la relevancia de cada modelo midiendo cualitativamente la inferencia digital. Finalmente, realiza una verificación de los tres en conjunto, para dar entrada a la proyección del capítulo de conclusiones. En ningún caso se pretende una argumentación circular puesto que no hay una confirmación mutua, sino un solape de modelos.

La metodología triangular que es redundante a lo largo de todo el trabajo, permite la verificación de conceptos que articulan transversalmente el texto. Está presente, no solamente en la ordenación de los antecedentes y del corpus de análisis sino en la premeditada elección de tres autores y tres conceptos que los vinculan para un análisis crítico asimétrico.

Aspectos gráficos.

Para trazar de manera gráfica los conceptos esenciales de los modelos principales de estudio, se han elaborado cuatro diagramas explicativos, con voluntad de mapas relacionales. El primero de ellos describe el procedimiento de triangulación sobre el que se apoya la textura crítica de la tesis. A continuación se ha procedido a elaborar un diagrama de descripción gráfica del modelo conceptual de cada autor: el trabajo de Christopher Alexander, Nicholas Negroponte y Cedric Price se expone en una guía gráfica por la complejidad de sus conceptos y contribuciones. Cada documento sigue una estructura paralela en el que se establecen las relaciones de correspondencia en análisis que son Sistema, Código y Proceso.

Terminología.

Con respecto a la terminología empleada es preciso aclarar algunas consideraciones semánticas. Dado que una importante parte del razonamiento implícito en el desarrollo del análisis de los autores radica en cuestiones externas a las estrictamente arquitectónicas, se ha procedido a la elaboración de un glosario ordenado donde se explican los campos semánticos de la compu-

³ Según Denzin, N. K., *Sociological Methods: a Source Book*.(1970) es la combinación de dos o más teorías, fuentes de datos, métodos de investigación, en el estudio de un fenómeno singular.

⁴ Ibid. Diferentes métodos y de técnicas, o utilización de diversas estrategias metodológicas cuantitativas o bien cualitativas.

tación y la biología y el modo en que se relacionan con el arquitectónico. Con respecto a la terminología es esencial ampliar en determinadas notas, el significado que se otorga en este texto a algunos términos, comparando una explicación del significado ortodoxo disciplinar, y a continuación el modo en que los arquitectos lo han ido incorporando a la disciplina. Así, será objeto de aclaración lo que implica distinguir entre la noción de digital para las ciencias de tecnología de la información y las ciencias de la computación, y lo que en un entorno arquitectónico se entiende por digital. También es pertinente aclarar en su caso la distinta acepción que ha ido incorporando algunos términos al evolucionar por detrás del propio concepto al que definen. Es pertinente una aclaración sobre la velocidad relativa de inserción de conceptos en relación con la inserción reposada de términos a un diccionario oficial del castellano.

Finalmente, en esta tesis se ha optado por realizar alguna traducción libre de un término, generalmente anglicismos, que han sufrido una traducción popular que pervierte el significado del término original y por esa razón la autora propone el uso de su propia acepción del término. Véase el caso del término *performance* que se traslada al texto presente como *performativo*.

Referencias documentales

La mayoría de los textos bibliográficos se han manejado en su versión original de publicación (por ser esta mayoritariamente en inglés, aunque exista una traducción al castellano). Es por esta razón que la mayoría de las citas textuales de libros son traducciones de la autora.

Aspectos documentales. Métodos de citas y bibliografía Del mismo modo, es necesario proceder a aclaraciones con respecto a las fuentes documentales.

Las fuentes primarias han sido consultadas en las Bibliotecas siguientes

- Bartlett School of Architecture. Central Library. UCL London, UK.
- Harvard Graduate School of Design. Harvard University. Cambridge, MA. USA.
- Boston Architectural Institute. Cambridge, MA. USA.
- MIT-Media Lab General Library. Massachusetts Institute of Technology. Boston, MA. USA.
- Imperial College of Science, Computing and Medicine. University of London, London UK.
- John and Julia Frazer Personal archive. London, UK.

Las fuentes secundarias, y de imágenes gráficas han sido suministradas vía internet por

- Canadian Center for Architecture. Cedric Price Archive. Montreal, CANADA.
- MOMA the collection. New York, USA.

El formato de trabajo.

Finalmente procedemos a una aclaración sobre El formato de trabajo. Para la redacción de este trabajo doctoral , se ha utilizado el programa **Latex**. Una herramienta programable para redacción de textos científicos que vincula de manera dinámica todas las citas, imágenes y bibliografía que en ella figura.

Capítulo 2

ANTECEDENTES

En este apartado inicial se procede a tratar aquellos antecedentes de las disciplinas que son relevantes para acompañar el corpus de este trabajo doctoral. Es preciso tener en cuenta que, aunque se han organizado por unidades temáticas de afección al tema del trabajo, es debido precisamente a la naturaleza del mismo, que los distintos apartados no se pueden exponer de manera aislada. A lo largo del capítulo, los conceptos se van entrelazando de manera que la noción de *Sistema* abre paso a la *Computación* y ésta proporciona los instrumentos para tratar los antecedentes de la *Biología*. Todos ellos encuentran resonancia en ciertos antecedentes arquitectónicos descritos en la última parte del presente capítulo.

2.1. SISTEMAS. Aspectos relevantes para la Arquitectura

Una de las premisas de esta tesis es la consideración de que el objeto de la arquitectura es el diseño y construcción de sistemas completos que han de ser insertados en un determinado entorno, a su vez otro sistema de mayor complejidad. Para ello es esencial garantizar que el trabajo del arquitecto se acomete desde una aproximación integradora y multi-disciplinar que contemple todos los aspectos que pueden afectar a dicho sistema. (Pask 1969).

Arquitectura y Ciencia aplicada comparten la condición esencial de la práctica. Son disciplinas inseparables de instrumentos y realizaciones precisas y no tienen sentido en un marco estrictamente teórico. Coinciden en la tarea de trasladar conceptos abstractos, a su construcción en la realidad. Por ello es cada vez es más necesario en la tarea del diseño arquitectónico el incorporar conceptos y herramientas de otras disciplinas que también se ocupan de sistemas. Esa deriva del ejercicio del arquitecto, hacia un entorno que se aproxima al laboratorio, tal y como se aproxima en este texto garantiza un formato integrador para el desarrollo de la disciplina.

Finalmente en el capítulo, se enuncian las cualidades básicas que definen un *sistema* según la “teoría general” del biólogo Bertalanffy -un referente al que remiten la biología, la matemática, la computación- y se abunda en la importancia de ordenar el pensamiento tanto teórico como aplicado en formatos abiertos y ampliables.

Si consideramos válida la afirmación de Patrik Schumacher, la arquitectura puede definirse como un “subsistema” social que opera como sistema particular de comunicaciones.

El término arquitectura puede ser considerado bien como una categoría que denota una clase de *objetos* (la clase: “edificios”), o como un dominio académico de conocimiento que se ocupa de tales objetos, o la actividad profesional encaminada a la producción de los mismos. Una postura integradora que asume que la arquitectura es un sistema de comunicaciones no puede limitarse a una mera colección de objetos ni a un modo concreto de praxis: aglutina a las tres categorías: objeto, teoría y práctica entendidas todos como unidades de comunicación que se conectan en un proceso recursivo.

En este apartado de antecedentes, se identifican campos del conocimiento que orientan sus principios operativos hacia ese concepto integrador de *sistema*. Por enfrentarse a su campo de estudio con actitud inclusiva contaminan el proceso de transformación de la arquitectura en cada una de los tres categorías descritas. Todos ellos participan de propiedades y procedimientos complejos desde planteamientos holísticos; dada su condición de entidades de comunicación, no es posible analizar o diseñar un sistema de manera fragmentaria. Y esa unidad (como materia integrada) se transfiere también a la consideración de una única materia por compilación de otras tantas en origen bien delimitadas.

De hecho, puede afirmarse que las prácticas actuales de lo multidisciplinar van más allá de las “colaboraciones”, bastante usuales, entre científicos y humanistas; las prácticas colaborativas unen disciplinas nunca antes asociadas e incluso tradicionalmente incompatibles; propician el anidamiento de rutinas y herramientas donde cada integrante se adueña de modelos conceptuales externos y los incorpora a su propio lenguaje y procedimiento. Se establece el conocimiento de una manera no lineal y no jerárquica, donde conceptos del dominio natural de una disciplina anidan en otras y viceversa, conjurando barreras territoriales.

Si consideramos someramente una analogía de un sistema con capacidad de despegarse de su propio objeto que se desarrolla en un espacio físico y conceptual, podemos recurrir a un ejemplo procedente del universo sonoro de Karlheinz Stockhausen. Un símil de integración de registros abstractos y gráficos es la notación musical utilizada por Stockhausen para dos de sus obras, *Kontakte* y *Cuarteto para un helicóptero*, separadas por 35 años. Ambas responden a la motivación presente a lo largo de toda su obra, de integrar el espacio musical y el espacio tecnológico. En la figura adjunta se muestran

Figura 2.1: Notación musical de Karlheinz Stockhausen para sus piezas *Cuarteto para un helicóptero*(1995) y *Kontakte*(1959-1960)

dos de las traslaciones de notación de las obras en partituras abstractas: notaciones dimensionales y diagramas de relación de la interpretación de sonido expuesto a través de su espacio de su ejecución. 2.1

Revolución: aquellos episodios de desarrollo no acumulativo en los que se reemplaza, completamente o en parte, un antiguo paradigma con otro nuevo e incompatible con el anterior.

(Thomas S. Kuhn; The structure of Scientific Revolutions Kuhn (1996))

Basándonos en esta definición de Kuhn, tan perfilada como útil, es difícil afirmar que asistamos a una revolución en el ámbito de la arquitectura, puesto que cualquier variación que pueda formularse y asumirse como cierta, necesariamente incorpora partes esenciales del estado previo. Por tratarse de una disciplina que traza su mapa de tareas combinando múltiples conocimientos físicos, técnicos, termodinámicos, ecológicos, sociológicos, económicos, el campo de afección es tan amplio y diverso que no es posible declarar que se trate de una verdadera revolución.

Sin embargo, sí se está produciendo una profunda transformación en el modo en que se llevan a cabo esas tareas y en el desarrollo de un nuevo campo semántico compartido. Si pensamos en conceptos como *evolutivo*, nos encontramos con que es capaz de proveer de un nuevo significado y vincular transversalmente, investigaciones que van desde la biología, la nanotecnología o la ingeniería, al tiempo que los estudios del clima o de las transformaciones que se operan en grandes asentamientos humanos.

Siguiendo un concepto similar, la arquitectura puede repensar su campo de acción y ampliar su programa. Por ejemplo, resultaba inédito hasta muy recientemente encontrar ejemplos de arquitectura cuyo objeto fuera diseñar proyectos temporales, cambiantes o destinados a “remediar” una acción no permanente del hombre.

Figura 2.2: Minnesota Un. Thinking in systems. Buckminster Fuller Institute (2009)

Con ese propósito, la arquitectura ha tenido que adaptarse para incorporar atributos de simulación y desarrollo dinámicos, y procedimientos de trabajo colaborativo con otros campos del saber que sí son intrínsecamente mutables. Es ya cotidiano incorporar modelizaciones de estructuras que se analizan como fluidos tal es el caso de Sasaki en sus extensas colaboraciones con Toyo Ito, o el uso de la termodinámica en acciones locales en una fachada, por ejemplo la envolvente de la casa de música de OMA, o la incorporación de procesos de emergencia no lineales al diseño de un modelo de crecimiento de ciudad.

2.1.1. Sistemas Complejos con resonancia arquitectónica

La arquitectura es una tarea anticipatoria, cualidad compartida con la ciencia. Nace de un concepto ya de por sí compilador de conocimientos diversos que, de manera participada, encauzan la creatividad desde lo abstracto hacia lo concreto. La necesidad tradicional de dominar geometría, cálculo, álgebra, física, termodinámica, y las técnicas propias del oficio de construir, se van completado con las leyes de organización de una construcción como sistema; desde el momento de su diseño, a través de su puesta en obra e incluso, esto sí difiere de planteamientos previos, de su desmantelamiento.

Desde la certeza de la finitud de ese gran sistema llamado Tierra soporte del hábitat, se hace esencial encontrar nuevos modos de construir y albergar al ser humano, garantizando el equilibrio general de materia y energía del medio. Es por esa razón que se deben incorporar conceptos de cambio y transformación, vitales y contrarios al empeño histórico de diseñar y construir para la permanencia y lo inalterable. En la modelización del Instituto Fuller se muestra un modelo de redes de información genérica referida a la escala de la Tierra. 2.2

La definición de sistema pertenece al dominio científico. Según el Oxford Dictionary of Science, no existe una definición científica de sistema desvinculado del entorno de estudio al que se refiere. (Systems., 1984). La primera entrada remite a *Systems Biology* lo cual es indicativo de la relación de entrelazamiento inherente al término.¹

Es precisamente el enfoque de *sistema en equilibrio*, propio de las ciencias de la naturaleza, el que nos lleva a redefinir el ámbito conceptual y práctico, dado que sólo es posible alcanzar el equilibrio (concepto dinámico por excelencia) a través del tránsito por distintos estados intermedios en claro desajuste. Podemos establecer un paralelismo entre un sistema biológico y un sistema arquitectónico desde la noción de *resiliencia*, o *tendencia al equilibrio*. Se detectan aspectos comunes que son esenciales en el ejercicio de la arquitectura y que hacen posible que pueda para intercambiar procedimientos con la ciencia:

El aspecto más sobresaliente es que el cometido de la Arquitectura es diseñar sistemas *completos*, por recombinación de sus componentes, basadas en sus relaciones internas y con el entorno. No es posible diseñar un espacio como apilamiento de elementos constructivos o estancias, que no contemplen el funcionamiento sistémico íntegro: pensemos en la imposibilidad de diseñar un espacio de alojamiento sin tener en cuenta un programa entrelazado de usos o ignorar el entorno climático en que ha de desenvolverse.

Otra consideración esencial es que la arquitectura como sistema es un ejercicio permanente en la multiescala, condición que comparte con la Biología. Una tarea que se desenvuelve al mismo tiempo en lo *micro* y lo *macroscópico*, desde la premisa de que tratar con sistemas implica la transformación de dichos sistemas. Ello incorpora el parámetro tiempo como cuestión básica de trabajo.

Finalmente, la arquitectura desde el punto de vista de sistema, opera con la simulación como campo de anticipación; teniendo en cuenta que su finalidad es un objeto construido, la disciplina debe ser capaz de anticipar las instrucciones, y encontrar los mecanismos de validación previa, para que la producción edificatoria tenga lugar con garantías. Se analiza en este punto qué órdenes semánticos se transfieren de la Ciencia de los sistemas al campo disciplinar del arquitecto.

La definición más universal es al tiempo difusa o necesitada de atributos:

¹An approach that seeks to study organisms as complete systems networks of interacting genes, biomolecules, and biomechanical reactions. It thus attempts to integrate all relevant structural and functional information, rather than focusing on, say just one particular gene or protein at a time. This involves amassing and organizing data obtained from genomics, proteomics, and other areas of bioinformatics and managing and analysing the data to identify patterns, formulate hypothesis, and ultimately create computer models that will enable accurate predictions of cellular and organismal responses. Such models will have a radical impact on medicine and biology in the future. *Oxford Dictionary of Science*

Sistema . Del latín *systema*, y este del griego: Conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí. (Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española)
sistema: *conjunto organizativo que no puede diseccionarse en partes sin perder su significado.*

Como veremos más adelante, en el epígrafe destinado a la Teoría General de Sistemas enunciada por Bertalanffy (von Bertalanffy, 1968), un sistema se define en términos generales como un compendio de elementos que juntos producen, por virtud de las interacciones entre ellos, un comportamiento que afecta a todo el sistema. Este planteamiento puede describir prácticamente a toda entidad presente en la naturaleza. Pero los teóricos de los sistemas generales estaban particularmente interesados en las propiedades de los sistemas vivos, como modelo básico al que referirse para explicar cualquier fenómeno complejo que nos rodea.

Científicos como Anatol Rapoport (Rapoport y Chammah, 1965), caracterizaron los objetivos principales de la teoría de sistemas como la preservación de la identidad a través de una sucesión de cambios, con un orden de complejidad organizada, y orientada a la consecución definida de objetivos. Los biólogos Humberto Maturana y Francisco Varela (Maturana y Varela, 1980) realizarían su investigación basándose en los dos primeros conceptos a través de la noción de *autopoiesis* o auto-construcción: un proceso auto-organizativo por el cual un sistema mínimo (una célula) funciona como un todo, para producir de manera continuada sus partes componentes (partes de la célula) que a su vez, generan el sistema que los produce. De este modo, la autopoiesis es la clave de organización de los sistemas naturales vivos. Colonias de hormigas, redes neuronales, el sistema inmunitario humano, ciertos modelos económicos o la world wide web son sistemas prototípicos de estudio que sirven para entender las leyes internas de funcionamiento y el modo en que pueden extraerse leyes de aplicación a otros sistemas complejos.

Todos estos conceptos se están empleando desde hace varias décadas en el ámbito de la arquitectura como describe el corpus central de esta tesis. A lo largo de la misma, se explicarán una serie de proyectos y procedimientos que parten de los mismos planteamientos, en ocasiones, replicando modelos de sistemas naturales casi literalmente; encontramos un antecesor claro de la arquitectura paramétrica y sus desarrollos evolutivos, en esos conceptos de autopoiesis para poner a incubar procesos paralelos de búsqueda de soluciones arquitectónicas.

Para entender cómo se han gestado esas líneas de trabajo la primera consideración es analizar qué propiedades de la la complejidad pueden aplicarse a sistemas arquitectónicos. Enunciar cuestiones de complejidad referidas a la arquitectura implica identificar un modo de estructurar pensamiento a través de relaciones de intercambio horizontal y no de jerarquía.

De hecho, intentar definir “complejidad” de manera integral, incluyendo

grandes categorías generales en un único concepto, es en sí una tarea casi imposible. Lo que sí es posible es identificar sistemas que son complejos y describir las propiedades que comparten, una operación más eficaz para establecer más adelante paralelismos entre disciplinas. Todos los sistemas identificados tienen una serie de características en común:

- Operan con funciones (relaciones) y no con objetos aislados.
- Detentan un comportamiento colectivo complejo. Aunque los elementos tomados aisladamente son muy sencillos, son las acciones colectivas de un gran número de esos elementos, las que adquieren un comportamiento complejo, mutable y difícil de predecir.
- Tienen una extensa capacidad de procesamiento de información (e interpretación de señales). Dichos sistemas registran y utilizan información tanto de su organización interna como de su entorno externo.
- Desarrollan una gran capacidad de adaptación. Todos los sistemas complejos se adaptan, modifican su comportamiento, para aumentar sus opciones de supervivencia o éxito, a través de procesos evolutivos o de aprendizaje.

Pongamos como ejemplo el tráfico de automóviles en una ciudad, donde cada vehículo es en sí un elemento sencillo, con una serie de parámetros confinados por unas condiciones de contorno; cada automóvil vincula su movimiento a otros vehículos y atiende a unas reglas de movimiento como mecanismo de desplazamiento lineal a una velocidad determinada. Sin embargo, si tomamos el tráfico global de millones de vehículos emergen comportamientos propios de un sistema de enorme complejidad, donde influyen condiciones ambientales, orográficas, y técnicas con leyes propias de funcionamiento aún a pesar de desarrollarse sobre un viario jerarquizado y estar sometido a ciertos mecanismos de control.

“La teoría de los *sistemas complejos* es un campo interdisciplinar de investigación que busca explicar como un número grande de entidades simples son capaces de organizarse, en entidades de funcionamiento muy complejo, sin la presencia de un agente de control. Ese conjunto completo es capaz de crear patrones, procesar información, y en algunos casos, aprender y evolucionar. La palabra complejo tiene su origen en la raíz latina *plectere* :tejer, entrelazar”.²

Como explica Melanie Mitchell en su tratado esencial sobre la complejidad, como resultado de estas tres condiciones es posible aproximar una definición abierta de *sistema complejo*: un sistema en el que grandes redes de elementos sin un control previo siguiendo leyes operativas sencillas, desarrollan un comportamiento colectivo complejo, con procesamiento sofisticado

²Mitchel, Melanie, en *Complexity, a guided Tour*.

de la información y adaptándose de modo instantáneo o tras su propia evolución y aprendizaje.

Los sistemas de cuya organización emergen sin un orden interno o externo que los gobierne, reciben el nombre de auto-organizativas. El comportamiento macroscópico de dichas organizaciones no predecibles, se denomina emergente. Es por ello que de nuevo otra posible acepción a añadir a sistema complejo es aquella que enuncia que se trata de un sistema que opera según comportamientos no triviales emergentes y auto-organizativos.

Lo anteriormente descrito remite a propiedades cualitativas, pero es necesaria una definición cuantitativa de complejidad; un mecanismo de valoración de cuánto de complejo es un sistema.

Una forma de cuantificar proviene del modo en que se somete a estudio un fenómeno. De él devienen las características propias de cada sistema. Es ahora pertinente hacer una leve mención a los modos posibles de definir dicho modelo puesto que será la clave para entender la evolución de este trabajo de investigación.

El estudio de un sistema puede acometerse desde dos modelos clásicos de análisis: el reduccionista y el holístico.

El *reduccionismo* es un procedimiento de análisis y trabajo por el cual un sistema puede comprenderse examinando sus componentes, desde la premisa de que cada pequeña parte participa de unas propiedades extrapolables al sistema completo (implícita queda la idea de que esto ocurre a diferentes escalas dentro del mismo sistema). Una analogía estricta podría consistir en el análisis de la patología de un paciente estudiando cada célula, o la construcción de un edificio partícula a partícula, lo cual pervierte el carácter de “sistema”. No obstante es necesario aclarar que aunque el análisis aislado de individuos permite descubrir mucho sobre su forma y función, tiene enormes carencias en su comportamiento relacional.

Por el contrario, el análisis *holístico*, describe las relaciones entre agentes y la posterior integración de los mismos en entidades de superior rango. Incorpora un análisis reversible con cambios de contexto; interacción entre partes elementales, y con el entorno. Este modelo de análisis detecta emergencias, es decir propiedades o comportamientos que no pueden darse en los individuos aislados. Retomando la analogía previa es el caso que estudia una patología desde los efectos concatenados en distintos órganos, o el funcionamiento de un edificio a través de los intercambios de energía que en él tienen lugar.

Ninguno de estos modelos debería excluir al otro, puesto que para tratar con sistemas es necesario combinar prácticas de ambos en un proceso de necesaria convergencia.

Por ejemplo, en el caso del diseño de una fachada eficiente, es preciso preguntarse si es necesario modelizar un fragmento de la misma teniendo en cuenta que es una parte de una envolvente inalterable, o si por el contrario

Figura 2.3: Salman Craig, esquema de detalle constructivo generativo de fachada termodinámica. 2008

debemos considerar que forma parte de una envolvente con condiciones variables de orientación y exposición, y variables internas de uso, ocupación y programa. En el ejemplo de elemento de fachada desarrollada por el arquitecto de sistemas, Salman Craig.2.3, se demuestra que el detalle termodinámico afecta a nivel local pero establece al mismo tiempo un comportamiento general reversible.

2.1.2. Arquitectura y Laboratorios de Investigación

Trabajar en arquitectura desde el planteamiento de que tratamos con un sistema complejo, abre múltiples mecanismos de investigación. No sólo en cuestiones de orden funcional sino también en la repercusión figurativa, industrial, constructiva, social y política de cada arquitectura, haciendo más viable y coherente las circunstancias en que se llevan a término. Para operar en los campos de la complejidad es preciso plantear el trabajo arquitectónico como un espacio abierto que incorpora procedimientos científicos externos. La arquitectura es una disciplina que se sustenta sobre una práctica precisa y rigurosa en la técnica pero que, desde su dinámica de tarea basada en la creatividad, trabaja con amplios márgenes para la especulación. Dado que se encuentra en un proceso de permanente ampliación de conceptos y herramientas, es esencial analizar qué aspectos científicos concretos han modificado las bases de la disciplina en estos últimos años.

En este trabajo doctoral se expone a través de tres ejemplos definidos cómo el trabajo del arquitecto, gana en riqueza al trasladarse de su “estudio” aislado a una suerte de laboratorio donde es posible colaborar y experimentar con situaciones arquitectónicas complejas. El trabajo con maquetas en taller ha dado paso a la simulación virtual con prototipos múltiples.

Analizamos a continuación la incidencia de dos metáforas científicas esenciales por insertar procedimientos operativos para la arquitectura en las últimas décadas. La primera es netamente conceptual y tiene que ver con el orden biológico del desarrollo humano mediante la construcción sobre la naturaleza. La segunda afecta al procedimiento, y remite a la adopción de métodos propios de un laboratorio.

La Metáfora Orgánica

Tal como nos recuerda Bruno Latour (Latour y Woolgar, 1979; Latour, 1983), las palabras “traducción”, “transferencia”, “desplazamiento” o “metáfora” son palabras que significan lo mismo en latín, griego, inglés o castellano (Serres, 1990).

(Del lat. *metaphora*, y este del griego: traslación)

1. f. Ret. Tropo que consiste en trasladar el sentido recto de las voces a otro figurado, en virtud de una comparación tácita.

2. f. Aplicación de una palabra o de una expresión a un objeto o a un concepto, al cual no denota literalmente, con el fin de sugerir una comparación (con otro objeto o concepto) y facilitar su comprensión.

3

Si bien en códigos estrictos de comunicación el término remite a su carácter de vehículo retórico, destinado a la poética, la noción de metáfora cunado operamos con ella en ciencia implica el traslado de propiedades y argumentos que tienen la característica de ser transitivas.

George Laykoff, en su esencial texto *Metaphors we live by*, destaca precisamente el valor de intercambio ontológico de las metáforas: *el concepto metafórico sirve el propósito de estructurar lo que hacemos y como comprender lo que argumentamos. La esencia de la metáfora es comprender y vivir un concepto en términos de otro*

Resulta de esa evolución del concepto de metáfora, que se amplían los dominios semánticos de la ciencia en favor de disciplinas humanísticas.

Es esencial describir el significado de metáfora en arquitectura al ser una de las disciplinas que se benefician de una condición de espacio privilegiado para ese intercambio. Muchos de los procesos que se ponen en marcha en la década de los sesenta, cambian dicho significado de manera determinante. Esto es especialmente notable en el ámbito de la biología. Frente a utilizaciones decimonónicas de la metáfora “orgánica” desde planteamientos centrados en el significante, el nuevo modo de incorporar significados se orienta a procedimientos científicos.

Sirva como ejemplo de metáfora literal, el descrito por Julian Vincent que tiene que ver con el pabellón del Crystal Palace de Joseph Paxton, en

³Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. 2012

Figura 2.4: Joseph Paxton. Esquemas originales del sistema estructural del Crystal Palace. 1851

Figura 2.5: Esquema comparativo entre la estructura del nenúfar *Victoria Amazonica* y el detalle de sistema estructural del Crystal Palace. 1851

1851 en Hyde Park. La interpretación biomórfica de que la estructura de la cubierta se inspiraba en la estructura del nenúfar *Victoria Amazonica*, es incierta. Lo cierto es que el diseño corresponde al patrón desarrollado por el experto en horticultura John Claudius Loudon en las primeras décadas del XIX. El sistema “ridge and furrow” que maximizaba las ganancias de luz y acumulación de calor siguiendo una forma abovedada, pero que sólo parcialmente inspira la solución de cerramiento del Crystal Palace. Paxton plantearía, ciertamente observando la condición arbórea de los nervios de dicha hoja, una tracería de acero, pero cuyo propósito era la ligereza y la transparencia. Se trata de una estructura de nervios que presentaba, si, un audaz gradiente biomórfico, pero concebida para trabajar en el plano vertical, con una clara alteración de las cargas en la geometría del sistema 2.4. Su intención sin duda no era replicar un sistema siguiendo sus leyes generativas, sino simplemente indagar en la geometría resultante para transferirlo a un detalle constructivo. en la figura comparativa adjunta se analiza la relación biomórfica.^{2.5}⁴

Aunque contamos con el revolucionario precedente de D´Arcy Thompson desde un enfoque morfogenético que relaciona los procesos y la forma resul-

⁴el capítulo 5 de este trabajo se expone un análisis de esa misma estructura tridimensional desde planteamientos morfogenéticos en el Laboratorio de Emergent Technologies DDRL de la Architectural Association

Figura 2.6: Frei Otto. Esquema del sistema estructural. Cubierta tensada del estadio de Munich. 1972

tante, no será hasta los años sesenta cuando comienzan a *traducirse* de modo solvente procesos naturales a procesos constructivos artificiales a través de los estudios de genética y matemática.

En el extremo opuesto, que trabaja con metáforas generativas encontramos algunos primeros ejemplos en que una formación orgánica que mimetiza formas vegetales recurrentes en la naturaleza, da paso a una nueva manera de incorporar lo vegetal basado en el proceso orgánico de reproducción y crecimiento celular. Un ejemplo que se describe más adelante es el trabajo de Frei Otto para la cubierta del estadio de Munich. 2.6 Como se ve en la figura adjunta, en este caso, que recientemente ha sido objeto de minucioso estudio por parte de uno de los laboratorios de Emergent Technology de la Architectural Association, y al cual nos referiremos también en el capítulo 5, se procede a dos líneas de trabajo solapadas. Por un lado la distribución de una superficie de exposición optimizada, donde mediante elementos tensados se garantiza una cubrición solar y una recirculación y recogida del agua pluvial perfecta. Pero en un análisis en detalle, se refleja que la geometría y disposición de las uniones de los elementos de la cubierta, son también una respuesta a un problema biológico de tensión superficial.

Frente a una metáfora inicial de una superficie que imita a una hoja donde los criterios biológicos no tenían relevancia generativa, el diseño arquitectónico de dicho elemento se convierte en una *metáfora continuada*: establece una relación de correspondencia entre una metáfora inicial y otros significados concatenados. De este modo, la metáfora mecánica es re-elaborada en forma de metáfora continuada donde se trasladan atributos de lo orgánico a lo artificial y viceversa, por ejemplo en estos procesos de morfogénesis.

La Metáfora Laboratorio

La segunda de las metáforas científicas se refiere a que el espacio de trabajo compartido entre arquitectura y ciencia es un lugar destinado a la experimentación que seguimos denominando laboratorio.

Ese lugar de trabajo se asemeja al concepto de espacio *equipado* donde es posible trabajar con expertos y dinámicas de disciplinas de manera entrelazada. Se analiza a continuación ese necesario entorno de trabajo que es el laboratorio de investigación como espacio de intercambio, colaboración, o traslado de contenidos entre campos de conocimiento. Recurriendo de nuevo a Bruno Latour, el espacio del laboratorio se convierte en el espacio de encuentro entre ciencia y sociedad puesto que el laboratorio pierde su condición de espacio sellado con límites definidos y se traslada físicamente al lugar donde tiene lugar la investigación.

En su trabajo de estructuración de una Sociología de la Ciencia, Bruno Latour (Latour, 1983) realiza una investigación de campo crucial sobre los procedimientos de trabajo en un laboratorio. Sus conclusiones son relevantes en tres cuestiones que son de traslación directa a un laboratorio contemporáneo.

En primer lugar, desaparece la distinción entre el “interior” y el “exterior” del laboratorio. Su origen se cifra en la construcción de un objeto o campo de interés que debe ser compartido entre el investigador y el interesado. Los intereses pueden construirse trazando un itinerario del laboratorio al campo real ocupado por un grupo social; y esto se lleva a cabo incluyendo literalmente laboratorio en el escenario de observación: insertando un lugar nominalmente aséptico e indeterminado en el lugar “contaminado” donde prolifera el fenómeno. Convertir el laboratorio en el propio campo de cultivo. Latour centra el argumento en el relato del traslado literal de Monsieur Pasteur desde la École Normale Supérieure (ver imagen) hasta Pouilly le Fort. Pasteur trabaja en un laboratorio improvisado en dicha granja. *Se traslada a sí mismo y su laboratorio a la niebla de un mundo ajeno a la ciencia del laboratorio. No podía haber dos lugares tan extraños el uno para el otro, como una sucia, maloliente, ruidosa y desorganizada granja de ganado del siglo XIX y el obsesivamente limpio laboratorio de Pasteur.* Una vez en el campo, Pasteur y sus asistentes aprenden de las condiciones en las granjas y de los veterinarios, y comienzan a crear tales relaciones. Sólo así fue posible realizar un descubrimiento fascinante, la espora del bacilo que es la traducción mediante la cual los campos dormidos pueden de repente convertirse en infecciosos, incluso después de muchos años.

En segundo lugar, el trabajo en el laboratorio requiere una traslación fluida entre escalas, que puede también interpretarse como un trabajo con escalas múltiples. La escala de trabajo de un proyecto o experimento puede ser muy pequeña y sin embargo generar grandes repercusiones en registros próximos o remotos. Latour (Latour, 1983) indica cómo afecta la asimetría escalar el comportamiento de ciertos fenómenos: un microorganismo puede

Figura 2.7: Louis Pasteur en su laboratorio de París, circa 1856.

matar gran cantidad de animales mayores que él, un pequeño laboratorio puede aprender más de lo que nadie antes había aprendido acerca de los cultivos puros de ántrax. En el esquema adjunto 2.8, se representa el cruce de procedimientos científicos derivados de una práctica de laboratorio a lo largo del siglo XX, (transferencia de hallazgos desde 1880) y la repercusión en investigaciones derivadas, de escala global.2.8

Afirmo, por el contrario, que los laboratorios son uno de los pocos lugares en los que las diferencias de escala son irrelevantes, y donde el contenido mismo de las pruebas hechas dentro de sus muros puede alterar la composición de la sociedad misma.

Esta última reflexión retorna al argumento de que el trabajo desde el laboratorio transforma el objeto de trabajo del arquitecto, que pasa de ser un objeto terminado como conjunto de instrucciones cerradas, a convertirse en a un objeto de investigación. El “trasladarse” con el laboratorio al lugar del experimento ha transformado radicalmente el modo en que se investiga. El laboratorio es el trabajo desde un sistema sobre un sistema. El arquitecto se traslada a trabajar al lugar de intervención y tendrá que negociar con el equipo de diseño y con los usuarios finales de la arquitectura. Dado que las prácticas de laboratorio nos conducen constantemente a transformaciones, se hace necesario reorientar los objetos estudiando las largas y estrechas redes que hacen posible la interacción entre los hechos científicos.

Como ejemplo concreto de este apartado, queremos referirnos a un ejemplo de laboratorio multidisciplinar cuyos parámetros fundacionales se sustentan en el trabajo con la complejidad integrando disciplinas científicas. Muchos de los procedimientos que se utilizan en *Instituto Santa Fe* son objeto de análisis en los próximos capítulos, como el lenguaje de patrones o la computación con redes y autómatas celulares. Por otro lado, muchos de los procedimientos de trabajo que se implementan en dicho laboratorio han transformado laboratorios de arquitectura análogos, que se describen en el epígrafe 5 de la misma.

El origen se cifra en Douglas Hofstadter, y la publicación en 1978 de *Escher, Godel y Bach, un Eterno y Grácil Bucle* (Hofstadter, 1979), donde se plantea bajo el paradigma de la complejidad un itinerario por las obras de tres disciplinas diversas pero entrelazadas por múltiples interferencias. Empieza entonces a cuajarse un escenario de conocimiento compartido que aglutina disciplinas científicas aparentemente dispares.

La teoría de los sistemas complejos surge como área interdisciplinar del conocimiento gracias, en gran medida, a que la computación hizo posible por primera vez, estudiar el comportamiento de sistemas iterativos, con capacidad e vincular unos modelos complejos a otros (Mitchell, 2009). Al hilo de esa corriente, surge en 1984 la reunión de un selecto grupo de científicos en el desierto de Nuevo México; un Instituto de investigación científica desde

Figura 2.8: Evolución de las políticas de investigación sobre el virus del Antrax. Institute Pasteur (1950-1996)

la estrategia de cubrir un amplio espectro, para la investigación de fenómenos que sólo pueden ser estudiados como un organismo complejo. Desde sus comienzos, el Instituto Santa Fe se ha dedicado a la creación de una nueva comunidad en busca de emergencias colectivas en el campo científico.

La base de unión se centra en los procesos matemáticos, biológicos y de computación sobre la base de estructuras que pueden evolucionar. Si no hay transformación no puede haber transferencia. Es por esa razón que las principales disciplinas de estudio son la Biología, la computación y las teorías de redes.

La misión del Instituto Santa Fe es propiciar y dirigir la investigación científica basada en cuatro principios regidores: transversalidad, excelencia, innovación, y efecto catalizador enfocados siempre a trascender el ámbito de una única disciplina, lanzando enlaces a otras muchas, entre ellas la arquitectura: En una conversación entre Jason Payne y Sanford Kwinter, recogida en *From Control to Design* (Kwinter y Payne, 2008) establecen los principales ámbitos de trabajo en cuestiones fundamentalmente genéticas. En este ejemplo Payne argumenta el uso de una geometría generativa para la recreación de un espacio invernadero, basándose en argumentos de orden poblacional de la biología de John Holland (Holland, 1992, 1999), principal investigador del Santa Fe Institute.

2.1.3. Teoría General de Sistemas: incidencia en Arquitectura

Ludwig von Bertalanffy, biólogo y filósofo austriaco (1901-1971) plantea en los años 50 una Teoría General de Sistemas para formular una estructura común con capacidad para describir ordenaciones complejas. Opera con funciones vinculadas, que pueden asimilarse a sistema independientemente de su procedencia.

Es esencial referirse a esta teoría por dos razones: por un lado el estado de la cuestión científica se produce en el momento oportuno en la historia en que la arquitectura comienza a mirar los campos incipientes de la computación y la cibernética. Por otro lado permite compararlo en términos de semejanza temporal con la Teoría general de sistemas enunciada por Fuller que conforma el modelo de contraste del corpus principal de este trabajo.

Esta teoría formulada por L. von Bertalanffy, se plantea con voluntad de convertirse en una meta-teoría, mediante la cual se pueden describir y estudiar disciplinas diferentes, según categorías similares. Por razón de esta teoría, modelos y reglas generales son aplicables a cualquier disciplina independientemente de sus lógicas internas, razones, orígenes, objetivos y significados.

El propio Bertalanffy había detectado, la necesidad compartida por muchas de las ciencias fundamentales, de describir en un modelo sencillo las leyes generativas de modelos no triviales. En esos años, y en especial en el marco de disciplinas que tienen como objeto el estudio de sistemas dinámicos, se habían detectado coincidencias de enunciación: biología, computación, economía, convergen dado que su objeto de estudio son entidades interactuando en permanente transformación. El autor implementa el concepto de *isomorfismo* (condición que permite la sustitución de sistemas complejos por otros más simples, sin afectar a la forma) que encontraremos en el trabajo de varios de los autores a estudio. Otras de las propiedades enunciadas como inherentes a un sistema: equifinalidad, entropía, retroalimentación y organización, se retoman en el modelo de contraste.

Desde ese punto de vista dinámico, un sistema es un conjunto de funciones, virtualmente referenciada sobre ejes, bien sean reales o abstractos. También suele definirse como un conjunto de elementos dinámicamente relacionados operando sobre datos, energía o materia.

Según Bertalanffy (von Bertalanffy, 1968) señala, una “teoría” no debe entenderse en su sentido restringido, esto es, matemático, sino que la palabra teoría está más cercana, en su definición, a la idea de “paradigma” de Kuhn (Kuhn, 1996).

Según sostiene Bertalanffy, es inevitable tratar con complejidades, con “totalidades” o “sistemas”, en todos los campos del conocimiento. Esto implica una fundamental re-orientación del pensamiento científico. En el marco

conceptual de la complejidad, la tecnología piensa no ya en términos de máquinas (o componentes) sueltas sino de “sistemas”. Para ello, es necesario aplicar técnicas complicadas y computadoras con gran capacidad de procesamiento para resolver problemas en paralelo que van más allá de los alcances de un modelo matemático lineal. Tanto el hardware de las computadoras, la ingeniería de software, la robótica y la cibernética, así como todos los ámbitos de la ciencia de los sistemas, representan una nueva tecnología que ha sido llamada Segunda Revolución Industrial.

El escenario científico que nos rodea es, tal y como vaticinaba el biólogo, una realidad de entrelazamiento que recorre todas las escalas del medio físico en que nos desenvolvemos. Los avances espectaculares en biología molecular, el “desciframiento” del código (o clave) genético, y los consiguientes logros en genética, evolución, medicina, fisiología celular y muchos otros campos, evidencian que la información está entrelazada. Del mismo modo los avances en el campo de la nanotecnología y la física elemental, el descubrimiento y manejo de los aceleradores de partículas, junto con las teorías de entrelazamiento físico, y computación cuántica, han establecido conexiones de conocimiento y praxis hasta hace poco impensables. En claves astronómicas, el desarrollo de la exploración exhaustiva de nuestro sistema solar y el conocimiento cada vez más intenso de la Tierra como el más complejo de los sistemas accesibles, han contribuido a la integración de disciplinas, construyendo un escenario científico común de conocimiento e investigación.

Las raíces básicas de esta Teoría General de Sistemas, y que la habilita para marcar las líneas ontológicas de los campos científicos en el momento de su desarrollo que son los cincuenta, se basan fundamentalmente en la Teoría clásica de los sistemas matemáticos aplicada al cálculo infinitesimal. Aspira a enunciar principios aplicables a sistemas en general pero también a subclases definidas; a sistemas cerrados y abiertos, proporcionando técnicas para su investigación y su descripción.

Sobre ese armazón fundamentado en la heurística, se apoyan varios conceptos procedentes de distintas teorías que comenzaban a desarrollarse en el momento, y que Bertalanffy analiza para incorporar propiedades de todos ellos. Nos estamos refiriendo a las Teorías de redes, de Redes Neuronales, Teorías de Conjuntos y Grafos, Teorías de la Información, Autómatas Celulares, y la Teoría de Juegos. Nos permite este argumento dar entrada a los aspectos disciplinares de la Computación.

2.2. COMPUTACIÓN. Aspectos relevantes para la Arquitectura

Desde una taxonomía tradicional, un edificio está compuesto esencialmente de estructura, instalaciones, envolventes y particiones. No obstante, existe otra aproximación que lo contempla como un conjunto organizado de

relaciones trazadas en el espacio, conexiones, información sobre objetos con niveles determinados de energía. En términos computacionales, una construcción arquitectónica puede asimilarse a ese conjunto de relaciones; un sistema organizado de conjuntos de datos trabajando en asociación.

Las computadoras han abierto un nuevo camino en la investigación de sistemas arquitectónicos; no sólo facilitando cálculos que de otra manera habrían requerido un tiempo y energía excesivos y reemplazando el ingenio matemático por procedimientos rutinarios, sino también iniciando campos interdisciplinarios donde no existen, a priori, modos de solución matemáticos.

En este apartado se describen algunas de estas líneas de trabajo en computación que han sido en alguna medida trasladadas al campo disciplinar de la arquitectura y tienen una incidencia definitiva en las herramientas de conceptualización y construcción del espacio arquitectónico. Se realiza un recorrido por las principales teorías de computación que son relevantes para el análisis de modelos que se elabora en el capítulo central de la tesis.

2.2.1. Breve Historia de la Computación

Tal y como Norbert Wiener describe en el prefacio de su obra más emblemática *Cybernetics*, el escenario donde surgen gran parte de las investigaciones sobre computación se originó en una serie de reuniones informales en la Harvard Medical School hacia 1940, que agrupaba a científicos de diferentes especialidades: físicos, médicos, biólogos y matemáticos entre otros. *“De esas reuniones surgió la convicción de que los campos más fructíferos para el desarrollo de nuevas ideas científicas eran los que ocupaban regiones limítrofes entre diferentes especialidades, tierras de nadie a la espera de alguien con la audacia y amplitud de conocimientos suficientes para cultivarla con herramientas desarrolladas en otras especialidades que no fueran la suya. Para sacar el máximo partido de esas tierras vírgenes, el planteamiento no podía ser otro que el trabajo en equipo, con científicos que dominasen una de estas áreas limítrofes, pero con la curiosidad como para comprender y asimilar principios generales provenientes de otro campo”*

El desarrollo de esos nuevos ámbitos del conocimiento tiene, por tanto, su origen en el entorno académico Universitario. Salvo por alguna institución Británica como Cambridge, el fenómeno tiene lugar especialmente en Universidades norteamericanas, puesto que se convierten en refugio para grandes personajes de la ciencia, huyendo de la situación bélica en Europa. Los dos nodos más importantes son Princeton, dirigido por John Von Neuman, y el del MIT de Boston iniciado por Norbert Wiener. A ellos añadiremos otros dos personajes esenciales como son Alan Turing, por su contribución al cálculo algorítmico y Claude Shannon por su desarrollo innovador de la gestión de la información.

Se puede datar el inicio de la computación en una serie de esfuerzos

Figura 2.9: Imagen de reproducciones de la Máquina Analytical Engine circa 1850 , y la Colossus 1943 expuestas en el Science Museum de Londres (foto de la autora 2012)

matemáticos en generar máquinas que fueran capaces de hacer cálculos de manera automática. Desde los tempranísimos ejemplos de ábacos de calcular, encontramos mecanismos a lo largo de la historia que son precursores directos de máquinas de calcular, entre ellos el *mecanismo de bastones* de John Napier (1550-1617), capaces de hacer operaciones mecánicamente. Le seguirán entre otros ejempllos, los atribuidos a Pascal en 1642 que podía hacer sumas, y la perfeccionada por Leibniz, que hacia 1670 incorpora mecanismos que le permiten hacer multiplicaciones y divisiones.

El gran precursor mecánico de los ordenadores modernos se debe a Charles Babbage (1792-1871), que utilizando el telar de Jacquard, realiza un mecanismo matricial para hacer cálculos combinatorios gracias a un motor impulsado a vapor. Para el Analytical Engine, ilustrado en la imagen adjunta 2.9 el programa variable de cómo se insertaban las instrucciones en una cinta, fue diseñado a medias con Ada Lovelace, quizás la primera programadora de la historia.

La década de los 30 y cuarenta es una historia de desarrollo febril de estas máquinas en un fenómeno coral que ocurre en varios lugares simultáneamente. En los años treinta se desarrollan varios modelos con la tecnología incipiente de IBM que dió lugar a una computadora analógica en 1932 en el Massachusetts Institute of Technology en 1932. Importante hablar de la máquina *Mark 1* de 1943, al mismo tiempo que *Colossus*, una máquina de cálculo eléctrica en Inglaterra de la mano del equipo secreto de investigadores en Bletchley Research establishment para el servicio secreto británico. ese momento, a la carrera tecnológica condicionada por la segunda guerra mundial, se añade el desarrollo de *Eniac* de 1946, que es el primer ordenador electrónico desarrollado por JP Eckert y JW Mauchly en la Moore School de la Universidad de Pennsylvania.

El primero de los personajes que influyen en el desarrollo de la computación es Norbert Wiener por su contribución al desarrollo de la Cibernética. La palabra cibernética originaria del griego *kybernetiké* que significa llevar el timón o ejercer el control, que fue adoptada por primera vez para designar

así a toda la materia relacionada con el control y la comunicación por el matemático y físico Norbert Wiener (1894-1964) (Wiener, 1948).

La cibernética es pues una disciplina implicada en los sistemas de control basada en la comunicación (transferencia de información) entre sistema y medio circundante, y dentro del sistema, y en el control (retroalimentación) del funcionamiento del sistema en consideración al medio. Según mencionamos y volveremos a discutir, el modelo tiene extensa aplicación pero no ha de identificarse con la “teoría de los sistemas” en general. En biología y otras ciencias básicas, el modelo cibernético conviene para describir la estructura formal de mecanismos de regulación, p. ej. mediante diagramas de bloques y de flujo. Así se logra reconocer la estructura reguladora aun cuando los genuinos mecanismos permanezcan desconocidos y sin describir, y el sistema sea una “caja negra” definida sólo por entrada y salida. Por razones parecidas, el mismo esquema cibernético puede aplicarse a sistemas hidráulicos, eléctricos, fisiológicos, etc. La compleja y sutil teoría de los servomecanismos en tecnología ha sido trasladada sólo en grado limitado a sistemas naturales (cf. Bayliss, 1966; Kalmus, 1966; Milsum, 1966). La cibernética, como teoría de los mecanismos de control en la tecnología y la naturaleza, fundada en los conceptos de información y retroalimentación, no es sino parte de una teoría general de los sistemas; los sistemas cibernéticos son un caso especial -por importante que sea- de los sistemas que exhiben autorregulación.

Wiener, visionario gestor de la información, instala la cibernética en los contextos tecnológicos y neurofisiológico, para resolver situaciones de control. Trata los asuntos de transmisión de información en las maquinas y los organismos vivos:

[...] sólo puede entenderse la sociedad mediante el estudio de los mensajes y de las facilidades de comunicación de que de ella dispone y, además, que en el futuro, desempeñaran un papel cada vez más preponderante los mensajes cursados ente hombres y máquinas, entre máquinas y hombres y entre máquinas y máquinas.

El imaginario de Wiener, estaba encaminado a encontrar los principios que hacían más cercanos a las maquinas a los movimientos de los organismos vivos. No obstante, haberse iniciado la cibernética con el objetivo de lograr mejorar las maquinas, no la convierte necesariamente en una teoría de las máquinas.

Ashby (Ashby, 1966) sitúa el concepto fundamental de la automatización en el manejo de la “diferencia”. La razón de ser del accionar epistemológico de la cibernética es el concepto de “cambio”.

De igual manera a Bertalanffy (von Bertalanffy, 1968), Wiener propone teóricamente el de ser las máquinas cibernéticas sistemas cerrados organizativamente y abiertos informacionalmente, debido a sus conceptos de “retroalimentación” y el de “causalidad circular” los conceptos explicativos de la

Figura 2.10: Norbert Wiener en una clase sobre Servomecanismos en el Massachussets Institute of Technology circa 1946

cibernética.

En concreto Wiener llevó los conceptos de cibernética, retroalimentación e información mucho más allá de los campos de la tecnología, y los generalizó en los dominios biológico y social.

El mayor desarrollo de la cibernética se dio, cuando ella se aplicó a si misma, gracias a el haberse logrado una epistemología de los sistemas que involucraban a los observadores, llamándosele cibernética de “segundo orden”

El origen del pensamiento relacional referido a la computación. Von Neumann y los autómatas celulares

John Von Neumann, matemático de formación, es el primero en explorar los aspectos teóricos de los autómatas celulares (von Neumann, 1966). Su genial enfoque consistió en vincular los procesos de gestión de información con las leyes biológicas de la reproducción. Su contribución fue la descripción formal de los autómatas celulares y su aplicación a la computación. Pero el enfoque genial emerge de insertar la metáfora orgánica: plantear los procesos de computación como redes neuronales en vez de circuitos electromecánicos. Su trabajo al frente del equipo de investigadores en Princeton en los años cuarenta, enlaza investigaciones en múltiples aplicaciones, lo cual incluyó su dirección del Proyecto Manhattan. 2.11

La razón de este enfoque era despegar la lógica del diseño de los componentes de la ingeniería de los mecanismos que aportan la estructura. La base de este estudio radicaba en la incorporación de conceptos de física cuántica, economía, teoría de juegos y reproducción mecánica. En su texto “The ge-

Figura 2.11: Von Neuman, Oppenheimer y Bigelow entre otros miembros del equipo del Proyecto Manhattan en la Universidad de Princeton (1943)

neral and logical theory of Automata” (von Neumann, 1951) se plantea si es posible que una máquina (organismo artificial) se reproduzca.

Para comprender el problema, Von Neumann establece un paralelismo de elementos funcionales inmersos en un orden superior: la neuronas como unidades elementales. Todo el referente semántico remite a elementos biológicos: tejidos, músculos, neuronas, crecimiento. Un mecanismo capaz de replicarse a sí mismo por el procedimiento de reproducir las unidades más elementales del sistema a gran escala, vinculados por unas instrucciones tales que son capaces de replicar el comportamiento análogo.

Lo más asombroso de la teoría es la superposición de dos hipótesis revolucionarias, desde una teoría sin escala. Es también un acercamiento no lineal y por tanto impredecible. Debe ser llevado a cabo, experimentado, no siendo válido como modelo teórico.

El verdadero potencial de los autómatas celulares es que tratan relaciones entre elementos muy sencillos y son altamente eficaces para modelizar espacio arquitectónico porque describen de modo gráfico cómo un algoritmo sencillo puede ser una herramienta de generación de espacio. En la figura adjunta se muestra un desarrollo formal básico con autómatas celulares.2.12

Otra de las propiedades básicas de los autómatas celulares, es la capacidad de reaccionar al entorno. Pueden modelizarse en un espacio euclidiano dotando a cada individuo de unas condiciones de relación con sus colindantes. Pueden estar en distintos estados, pueden cambiar de estado, influyendo

Figura 2.12: Therese Tierney. Desarrollo de redes utilizando iteraciones sobre Automatas celulares clase 3 y 4 (Burke y Tierney, 2007)

así en el estado de las colindantes. Las leyes de funcionamiento son relacionales. Dependen de las relaciones con sus contiguos. Y de ahí emana que aunque las leyes sean muy sencillas, la combinación de factores de influencia permite un alto grado de complejidad (que puede ser identificado y descrito) desde procesos recursivos sencillos.

Son también procesos muy fáciles de visualizar. La visualización bidimensional permite ver esas relaciones, como los algoritmos las alteran y ver su progresión a lo largo del tiempo.

No sería hasta mucho tiempo después, pasados otros 50 años que nos encontramos con que John Holland (Holland, 1992, 1999), investigador del campo de la biología describe desde su laboratorio demuestra que los autómatas celulares pueden usarse para la simulación de distintos procesos flexibles: morfo-génesis biológica y química, fenómenos de turbulencia, redes biológicas, procesos tectónicos. Denominó a los autómatas celulares como computadores de circuitos iterativos, y propuso su idoneidad para el desarrollo de sistemas adaptativos complejos.

El principal debate que se abre a partir de las décadas de los 70-80 es el referido a las cuestiones del procesamiento de información: Cómo se almacena, transmite, jerarquiza y comprime la información en el cerebro humano constituía un absoluto misterio. Aún es más, qué mecanismos permiten al cerebro humano generar información útil a partir de datos dinámicos obtenidos del entorno.

El aspecto más crítico para la asimilación de procesos es que el ser hu-

Figura 2.13: Turing Machine hacia 1943 (Turing, 1963)

mano aprende de la experiencia y la experiencia configura el cerebro. Es decir, cuando el cerebro aprende algo, cambia. Por esa razón tanto los patrones (leyes de ordenación) como la alimentación son intrínsecos al cerebro humano, la inteligencia artificial, y modelos de aprendizaje neuronal, así como a la cibernética, los sistemas complejos adaptativos y los fenómenos de emergencia.

El trabajo de John Holland sobre sistemas complejos adaptativos vuelve a poner el punto de mira en una fascinante campo de investigación que retoma la herencia de Von Neumann: una estructura que aprende de si misma para replicarse, debe saber aprender.

2.2.2. Conceptos de Computación relevantes en Arquitectura

Cibernética

El nacimiento de la cibernética se estableció en el año 1942. La unión de diferentes ciencias como la mecánica, electrónica, medicina, física, química y computación, han proliferado a lo largo de estas décadas, y han abierto dominios de investigación que han inoculado estas teorías al ejercicio de la Arquitectura. La cibernética es la ciencia que estudia el desarrollo y el modelado de sistemas que pueden controlar su propio funcionamiento. Estos

Figura 2.14: Esquema básico del proceso de computación de Alan Turing.

sistemas tienen capacidad de recabar información sobre el entorno y sobre sí mismos, y de reaccionar a esa información alterando su propio funcionamiento. Surgen inicialmente como modelos de los sistemas complejos naturales, como los organismos vivos. El objeto principal de estudio de la cibernética son los sistemas de control basados en la retroalimentación. En estos sistemas la salida producida por el sistema es observada como un dato y el funcionamiento del sistema se ajusta hasta conseguir la salida deseada. Este tipo de mecanismo es lo que se llama retroalimentación. La cibernética supuso en su día un gran avance porque permitió el desarrollo de máquinas que podían trabajar sin supervisión humana, puesto que eran capaces de autorregularse. Sus aplicaciones principales se dieron en el campo del control de maquinaria y procesos industriales.

Inteligencia Artificial

La relación entre el hombre y la máquina marca el modo en que se propone en este grupo de trabajo el desarrollo de herramientas con capacidad de acompañar el proceso creativo del hombre. En 1943 el teorema de McCulloch y Pitts establece que un robot siguiendo ciclos de retroalimentación es capaz de deducir conclusiones ciertas o legítimas de una serie finita de premisas; una aproximación a esa propiedad es incrementar las probabilidades de acierto en el output (el diseño) generado por un input aleatorio (los criterios). Ross Asby sostiene que cualquier secuencia aleatoria de operaciones, si es suficientemente larga, contendrá todas las respuestas a un determinado problema. Por esa razón, para garantizar el proceso, es necesario describir una serie de restricciones e insertarlas en la posición adecuada en la secuencia de operaciones.

La inteligencia artificial surge a finales de los años cincuenta como la utopía de crear máquinas inteligentes. Este sueño florece a raíz del desarrollo de las primeras computadoras, y atraviesa varias etapas de indefinición hasta asentarse en lo que actualmente se entiende por ese término. Las visiones iniciales de la inteligencia artificial como disciplina aspiraban a desarrollar máquinas capaces de realizar tareas que hasta entonces sólo habían podido acometer los humanos, y que se consideraban características de la inteli-

gencia, como hablar, pensar, reconocer caras, entender mensajes hablados o escritos, reconocer caras... Al tratarse de un concepto definido por comparación o contraste con la inteligencia humana, presenta como concepto dos dificultades fundamentales. Primera, que la inteligencia humana es tremendamente compleja y todavía no se comprende en profundidad suficiente para servir como referencia práctica. Segunda, que la propia definición parece excluir del ámbito de la disciplina aquellas tareas que pueden realizar las máquinas; lo cual supone que cada avance que se consigue hacia los objetivos declarados – como por ejemplo, que una máquina sea capaz de entender mensajes hablados – convierte la tarea que se perseguía en algo rutinario que puede hacer una máquina y que por tanto deja de considerarse inteligencia artificial.

(ver Minsky, 1967) es la teoría de autómatas abstractos con entrada, salida y posiblemente ensayo y error y aprendizaje. Un modelo general es la máquina de Turing (1936). Expresado en su manera más simple, un autómata de Turing es una máquina abstracta capaz de imprimir (o borrar) las marcas “I” y “O” en una cinta de longitud infinita. Es demostrable que cualquier proceso, de la complejidad que sea, puede ser simulado por una máquina, si este proceso es expresable mediante un número finito de operaciones lógicas. Todo lo que sea posible lógicamente (es decir, en un simbolismo algorítmico) también puede ser construido - en principio, aunque es claro que en modo alguno siempre en la práctica- por un autómata, o sea una máquina algorítmica.

Algoritmos Genéticos

Los algoritmos genéticos se llaman así porque se inspiran en los mecanismos postulados para explicar la evolución biológica a través de las alteraciones progresivas del código genético de los individuos producidas por la acción conjunta de mutaciones producidas por influencias externas y de la recombinación de genes asociada a la reproducción sexual. Estos algoritmos representan los problemas a resolver en términos de un código genético que puede utilizarse para representar distintos tipos de individuo. Cada individuo es genéticamente diferente y se asocia a una posible solución del problema. El algoritmo genético genera una población inicial de individuos/posibles soluciones, y le aplica reiteradamente un conjunto de operaciones que simula la evolución: algunos individuos sufren mutación de su código genético, algunos se cruzan con otros recombina su código genético, y solo un subconjunto de los individuos de una población dada consigue transmitir su código genético a la siguiente generación. Para determinar qué individuos transmiten su código genético a la siguiente generación se utiliza una función de aptitud, que suele utilizarse para codificar las condiciones que debe cumplir la solución deseada al problema. Al cabo de un número suficiente de generaciones, los individuos más aptos de la población final deben representar soluciones adecuadas para el problema planteado. Desde el punto de vista computacional,

los algoritmos genéticos tienen la ventaja de que permiten encontrar soluciones aceptables a los problemas planteados en un tiempo mucho más corto que los algoritmos basados en exploración exhaustiva del espacio de posibles soluciones, si bien tienen la desventaja de que no ofrecen ninguna garantía de que las soluciones encontradas sean óptimas.

Patrones de Diseño

La teoría de patrones para diseño arquitectónico propuesta por Christopher Alexander ha tenido impacto en el campo del desarrollo de software, en la forma del conjunto de patrones de diseño orientado a objetos generado por Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson y John Vlissides en su libro "Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software". El diseño orientado a objetos es un paradigma de programación que invita a organizar el código de un programa en forma de "objetos", que son módulos de código que agrupan los datos junto con las operaciones que han de aplicárseles, y que permiten empaquetar representaciones complejas dentro de abstracciones más simples. Este paradigma de programación se convirtió en el estilo de programación dominante a partir de los años 80, en gran parte debido a que facilitaba el desarrollo de interfaces gráficas de usuario. Al utilizar programación orientada a objetos, los programas requerían un diseño complejo en términos de estos "objetos" cómo se relacionaban entre ellos. Gamma et al proponen un conjunto de esquemas reutilizables de cómo combinar objetos para resolver problemas básicos de programación, que denominan patrones de diseño orientado a objetos. A raíz de su libro se populariza el concepto de patrón de diseño orientado a objetos y se desarrollan otros patrones para describir estructuras genéricas de aplicaciones (denominadas "arquitecturas de software") o soluciones específicas para aplicaciones web.

Autómatas Celulares

Los autómatas celulares son herramientas matemáticas para modelar sistemas dinámicos que representan el funcionamiento de sistemas con una definición matemática que puede asociarse a un conjunto de células que crecen, se reproducen y mueren a medida que pasaba el tiempo. Un autómata celular es un modelo matemático para un sistema dinámico, compuesto por un conjunto de celdas o células que adquieren distintos estados o valores. Estos estados son alterados de un instante a otro en unidades de tiempo discreto, es decir, que se puede cuantificar con valores enteros a intervalos regulares. De esta manera este conjunto de células logran una evolución según una determinada expresión matemática, que es sensible a los estados de las células vecinas, la cual se le conoce como regla de transición local. Se diferencian de los algoritmos genéticos en que el sistema representa explícitamente la distribución espacial de las células, y cada célula se ve afectada solamente por aquellas otras células que están en su vecindad inmediata. Por esta razón, son apropiados para modelar sistemas naturales que se puedan represen-

tar como un conjunto grande de objetos simples que interactúan localmente unos con otros. Mediante autómatas celulares pueden construirse máquinas universales, es decir, máquinas capaces de codificar cualquier algoritmo.

Los autómatas celulares surgen de los esfuerzos de John Von Neumann en los años 40-50 para modelar una máquina que fuera capaz de autoreplicarse.

Teoría de la Información

La teoría de la información o teoría matemática de la comunicación fue propuesta por Claude E. Shannon y Warren Weaver a finales de los años 1940. Esta teoría establece términos muy claros para describir la comunicación como la transmisión de un mensaje entre un emisor y un receptor, utilizando un código compartido para representarlo. La teoría establece las restricciones básicas sobre las codificaciones óptimas de los mensajes, y aplica elementos de matemática avanzada para definir como valores matemáticos la cantidad de información contenida en un mensaje. Esta teoría de la información resultó fundamental para el desarrollo de los sistemas de comunicación como el teléfono, las redes de teletipo y los sistemas de comunicación por radio. También ha tenido un gran impacto en el desarrollo de Internet y los mecanismos de compresión de información como los archivos ZIP.

La teoría de la información, en el sentido de Shannon y Weaver (1949), define la información por una expresión isomorfa con la entropía negativa de la termodinámica. De ahí la esperanza de que la información sirva de medida de la organización (cf. p. 42; Quastler, 1955). En tanto que la teoría de la información ganó importancia en ingeniería de comunicaciones, sus aplicaciones a la ciencia no han llegado a ser muy convincentes (E. N. Gilbert, 1966). La relación entre información y organización, teoría de la información y termodinámica, sigue siendo un problema decisivo (cf. pp. 157 ss)

Teoría de Juegos

La teoría de juegos es un área de la matemática aplicada que utiliza modelos para estudiar la elección de la conducta óptima cuando los costes y los beneficios de cada opción no están fijados de antemano, sino que dependen de las elecciones de otros individuos. Estas situaciones se estudian en forma de interacciones en estructuras formalizadas de incentivos (que se llaman «juegos»). Aunque en un principio se desarrolló para entender el comportamiento de la economía, la teoría de juegos se utiliza hoy en día en muchos otros campos, como en la biología, sociología, psicología, filosofía y ciencias de la computación. La teoría de juegos (von Neumann y Morgenstern, 1947) representa un enfoque diferente pero puede agregarse a las ciencias de sistemas por ocuparse del comportamiento de jugadores supuestamente “racionales” a fin de obtener ganancias máximas y pérdidas mínimas gracias a estrategias apropiadas contra el otro jugador (o la naturaleza). Tiene así que ver esencialmente con un “sistema” de “fuerzas” antagónicas con especificaciones.

Teoría de Redes

A su vez, está ligada a las teorías de los conjuntos, los grafos, los compartimientos, etc., y se aplica a sistemas tales como las redes nerviosas (p. ej. Rapoport, 1949-1950)

Teoría de los conjuntos. Las propiedades formales generales de sistemas, sistemas cerrados y abiertos, etc. pueden ser axiomatizadas en términos de teoría de los conjuntos (Mesarovic, 1964; Maccia, 1966) Este aspecto será esencial en el desarrollo de los patrones de Christopher Alexander, tal y como veremos en el apartado 3.2.1 de la presente tesis.

Teoría de Grafos

Muchos problemas de sistemas conciernen a sus propiedades estructurales o topológicas antes que a relaciones cuantitativas. Se dispone de más de un acceso al respecto. La teoría de las gráficas, en especial la de las gráficas dirigidas (digráficas), elabora estructuras relacionales representándolas en un espacio topológico. Ha sido aplicada a aspectos relacionales de la biología (Rashevsky, 1956, 1960; Rosen, 1960). Matemáticamente se vincula al álgebra de matrices; por el lado de los modelos, a la teoría de los sistemas por compartimientos son subsistemas parcialmente “permeables”, y desde aquí a la teoría de los sistemas abiertos. Este campo de programación sería fundamental para el desarrollo del trabajo de Nicholas Negroponte y los experimentos sobre interfaces gráficas del Media Lab del MIT.

2.3. BIOLOGÍA. Aspectos relevantes para la Arquitectura

2.3.1. Biología como ciencia de procesos

A través de este grupo de conceptos se anticipan algunas cuestiones acerca de si puede un proceso de computación modelizar sistemas naturales complejos y por qué ese modelo es operativo en la generación de modelos arquitectónicos. Una de las hipótesis iniciales de esta tesis incide en demostrar que en efecto así es, y es la base de la incorporación de procesos digitales que informan y transforman el modo en que hacemos arquitectura: contribuyen a generar un espacio a partir nuevas relaciones geométricas (información innata de elementos arquitectónicos) y procedimientos de construcción determinados (según condiciones del entorno).

Un modelo relacional es relevante puesto que la producción de forma en sistemas biológicos exhibe una inherente complejidad; parte de procesos no lineales para producir redes y modelos distributivos. De este modo se aproxima a una visión termodinámica y computacional de la forma en arquitectura que ya ha comenzado a aparecer en la era digital.

Comencemos por una relación discreta de conceptos de la Biología. La biología es la ciencia que se ocupa del estudio de lo que tiene vida. La ecología, formulación específica de la biología, se ocupa del estudio de las re-

Figura 2.15: William Flake. *The computational beauty of nature* Esquema de adaptación programática de las plumas al medio 1998.

laciones entre organismos vivos y su entorno, que incorpora una dimensión física y temporal definida. Esta segunda noción es de directa aplicación de una manera natural a la arquitectura. De hecho, el objeto fundamental de la arquitectura es proporcionar oportunidades de alojamiento a través de intervenciones materiales y energéticas específicas en el entorno físico. Es por esta razón que la arquitectura debe ir más allá de tomar literalmente las fuentes de la naturaleza como concepto o como opciones de repertorio formal.

La ciencia de la biología, es por consenso de la comunidad implicada la materia que lidera la investigación científica general de este inicio de milenio. La razón fundamental reside en que aglutina en su campo disciplinar un objeto y procedimiento que están unificados al amparo de los procesos, una ciencia que trata estados dinámicos que pueden estudiar cualquier dimensión de la realidad cuantificable.

Esto demostrará un paralelismo directo y evidente aplicación a nuestra disciplina. En este capítulo se describe la importancia del concepto de interrelación de fenómenos, y cómo los conceptos de pensamiento poblacional tanto en biología como en arquitectura, han desarmado el concepto de “tipo” en favor del de “especie”. Lo individual en favor de lo múltiple. Se revisan así las teorías de autores como el Biólogo Ernest Mayr (Mayr, 2001), matizada por la visión científico-romántica de Johann Von Goethe (von Goethe y Wachsmuth, 1963).

En el ejemplo que se describen en la figura 2.15, el autor (Flake, 1998) desarrolla cómo los patrones biológicos en la estructura de la pluma de un

ave, son consecuencia directa de una adaptación a diferentes condiciones del entorno. La combinación de parámetros de estructura dinámica, ligera, impermeable y térmica, y en ocasiones reversible, son directamente trasladables un diseño arquitectónico o de componentes del mismo. Un diseño biomórfico indica no sólo la adopción funcional, sino que las amplían a interconexiones entre distintos componentes constructivos.

En Biología no existen realidades aisladas; todo está en mayor o menor medida vinculado: la biología y la matemática remiten a procesos vinculados y sistémicos. Y es la ecología la disciplina que estudia un conjunto de agentes autónomos en simbiosis o en competencia que alcanza un equilibrio (a través muchos estados inestables).

Nothing happens in living nature that does not bear some relation to the whole. Above all we must remember that nothing that exists or comes into being, lasts or passes can be thought of as entirely isolated, entirely unadulterated. One thing is always permeated, accompanied, covered or developed by another, it produces effects and endures them. And when so many things work through one another, where are we to find what governs and what serves, what leads way and what follows?

(Johann Wolfgang von Goethe) (von Goethe y Wachsmuth, 1963)

En esta su faceta de innovador hombre de ciencia, nos muestra el literato un apasionado enfoque a la hora de analizar los procesos generativos en la naturaleza, para describir en el más puro sentimiento pre-romántico (*nota sobre Sturm und Drang*, la Tormenta y el Ímpetu) la capacidad del hombre no solo para entenderla sino de identificarse y operar en ella: “*Nada existe en la Naturaleza que no arrastre relación con el resto*”.

Desde ese interés por el conocimiento holístico remite a la necesidad de contraponer visiones de múltiples disciplinas incluso radicalmente opuestas. De entre ellas, la biología, como la ciencia más integrada que incorpora muchos saberes. Su relación con otras disciplinas como el arte, el aprendizaje o la matemática, insertan el “proceso” en el término morfología. Sin embargo, alerta sobre el marcado carácter disgregante de otras: la química y la anatomía como disciplinas sustentadas en el análisis de las partes, útiles sólo para conceptos relacionados con la especialización. En el texto *Ideen über organische Bildung* que es parte de *Schriften zur Morphologie* establece Goethe su concepto de *Morfología*, que describe en términos radicales como el carácter de cualquier sistema ya sea animado o inanimado, que es un “vínculo inquebrantable entre la forma y el proceso que lo genera” (von Goethe y Wachsmuth, 1963).

Avanza, del mismo modo, el concepto de que un sistema es una entidad en permanente transformación.

Goethe cuestiona cualquier visión que pretende analizar elementos separados de un organismo dinámico, como impedimento para comprender sus verdaderas leyes de su funcionamiento.

En lengua alemana la palabra *Gestalt* (forma) es usada para designar la complejidad existente de un ser y tiene una marcada significación generativa. El modo de ser empleado por el escritor, indica la complejidad de lo vivo en un organismo que lo hace completo (como estado articulado al que tiende) Goethe lo entrelaza con el carácter mutable de las formas, especialmente las orgánicas, en permanente cambio. El estudio de la forma, requiere acuñar un segundo término “Bildung” (formación o construcción) para explicar lo realizado, lo que está en proceso. Lo que ha sido formado es inmediatamente transformado.

Goethe también desarrolla una aproximación fenomenológica a la ciencia, en un momento en que era necesario describir la relación entre la investigación y el conocimiento general. En su ensayo de 1772 *El experimento como mediador entre sujeto y objeto* (von Goethe, 1995), Goethe describe la posición del científico hacia una ciencia original, que emplearía en sus investigaciones. Uno de los ejemplos de la trascendencia del oficio de científico es la definición del papel de lo experimental como ejercicio de relación entre el hombre y el conocimiento:

“El valor de un experimento consiste, sobre todo, en el hecho de que, sea simple o compuesto, bajo ciertas condiciones, con un aparato conocido y con la necesaria habilidad, puede ser reproducido en todo momento y con la frecuencia con la que se reúnan las condiciones necesarias (...) Cada experiencia que hacemos, cada experimento mediante el cual la repetimos, es propiamente una parte aislada de nuestro conocimiento; sin embargo, mediante la frecuente repetición hacemos de este conocimiento aislado una certeza” (von Goethe, 1995)

Podemos establecer una relación directa entre las características de un comportamiento natural a las que Goethe alude: generación, iteración, variación e interacción, y el modo en que se descifran (recombinan) para su concreción de la computación y el diseño de réplicas de comportamientos naturales. A continuación describiremos una serie de atributos que emanan de dichos sistemas naturales y que están configurando los puntos de inserción de la biología en la disciplina arquitectónica de los años presentes.

En biología, un entorno se define como el conjunto de factores climáticos, bióticos, sociales y edafológicos que, actuando sobre los organismos, determinan su forma y su supervivencia. Incluye todo lo que directamente afecta al metabolismo y comportamiento de organismos o especies vivas. De hecho, esa interacción la que propicia las propiedades funcionales de los individuos. Puede entonces definirse un entorno como la serie de condiciones

cuantificables que una especie necesita para sobrevivir.

El biólogo Jakob von Uexküll (Uexküll y Mackinnon) desarrolla un enfoque original e inesperado: la teoría o la noción de *Umwelt* (entorno), de nuevo un término alemán que despliega su polisemia: estudia cómo los organismos vivos perciben subjetivamente su entorno y y lo interpretan. Mientras los expertos convencionales en ecología asumen que todos los organismos de un ecosistema comparten el mismo entorno, Uexküll sostiene que distintos individuos pueden tener distinta percepción del entorno que comparten. Por esa razón *Umwelt* no es lo mismo que nicho ecológico. *Umwelt* es subjetivo; es decir los organismos crean y definen su entorno a través de la permanente interrelación con el medio. De modo que tiene una importancia funcional muy distinta a la del nicho ecológico, puesto que puede intervenir en él.

Para los humanos, es natural no sólo intervenir en ese medio sino compartir entornos de manera generalizada gracias a sus excepcionales habilidades de comunicación. Este aserto será esencial en el desarrollo de todas las teorías de conversación y de comunicación hombre-máquina-medio que llevarán a cabo tanto Gordon Pask como Nicholas Negroponte.

2.3.2. Evolución. Incidencia en diseño arquitectónico

La teoría fundamental para la comprensión del proceso evolutivo fue elaborada, en origen, por Charles Darwin (Darwin, 1859) y Alfred R. Wallace (Wallace, 1858). La hipótesis darwinista consideraba que el proceso evolutivo tiene lugar a través de tres factores concatenados: selección, transmisión y variación. En la naturaleza grandes poblaciones de organismos se reproducen individualmente para generar descendientes. La selección natural garantiza que las criaturas más aptas son las más capaces de reproducirse. La transmisión garantiza que los descendientes heredan los rasgos de los progenitores y la variación es responsable de que esos nuevos individuos puedan incorporar rasgos enteramente nuevos. Aunque no es objeto este trabajo de una pormenorizada descripción de las teorías evolutivas, sí es esencial acotar el proceso que asegura que cuando esos tres factores están presentes en el proceso, puede dar lugar a un desarrollo evolutivo. *El origen de las especies*, es una clara y convincente argumentación en favor de la selección natural como mecanismo explicativo del proceso de adaptación y evolución de las especies. De hecho, ocurre independientemente del medio y tiene lugar en entornos biológicos, computacionales, cognitivos, etc. Podemos aventurar que también arquitectónicos.

En un medio biológico cada organismo se desarrolla a partir de un conjunto fijo de instrucciones conocidos como el genotipo, hacia un organismo desarrollado completo denominado fenotipo. El genotipo de un individuo consiste en un listado de genes donde cada gen puede ser considerado como el conjunto de instrucciones de diseño (producción y montaje). El proceso del desarrollo del fenotipo a partir del genotipo se denomina embriogénesis y es

esencial para comprender la relación entre selección, transmisión y variación.

Transmisión y variación actúan a nivel de genotipo. La transmisión se produce por la reproducción por la cual se combina el material genético de los progenitores y lo transfiere al nuevo individuo. La variación ocurre debido a errores que ocurren durante este proceso. La selección natural, sin embargo actúa a nivel de fenotipo, puesto que sólo los organismos completos aptos para sobrevivir en un entorno sobrevivirán lo suficiente para reproducirse.

El aspecto del proceso determinante para esta investigación y el desarrollo de técnicas evolutivas en arquitectura es que la selección, transmisión y variación son capaces de *editar* el código genético de una especie completa para producir una secuencia de genes revisada específicamente adaptada a su entorno. En la población resultante, habrá aumentado la frecuencia de genes capaces de *construir* individuos aptos.

Para garantizar que se producen cambios encaminados a la optimización de una serie de soluciones, es preciso contar con un protocolo que replica la evolución. Cualquier sistema denominado *evolutivo* reproduce este esquema, de modo que la traslación a arquitectura sigue un camino paralelo.

Según John Frazer, cuyo modelo será esencial en el desarrollo de arquitectura evolutiva, gracias a la computación es posible realizar una selección artificial comprimiendo el proceso que la naturaleza hace a lo largo de muchísimo tiempo. Procediendo a una traslación instrumental de dicho concepto podemos asumir que la naturaleza genera *prototipos* aunque ocurre en un prolongado lapso de tiempo, seleccionando de grandes conjuntos de ejemplares, los más aptos para desempeñar una función. Este es el proceso que puede asimilarse a la labor de un diseñador. Realmente se realizan los mismos procesos pero concentrados en procesos muy comprimidos y con un control exhaustivo de las condiciones de contorno puesto que dominamos el medio en que esa *especie* evoluciona.

La naturaleza es austera, condición adecuada para ser trasladada a la arquitectura puesto que destina sus recursos a ajustar sus recursos, y quedarse con los prototipos mejor optimizados en función y forma desde un sofisticado conjunto de criterios de evaluación.

2.3.3. Pensamiento Poblacional y Arquitectura

Como se acaba de exponer, uno de los conceptos esenciales que manejamos de manera operativa desde las claves de la biología es el de población. Esta ofrece dos acepciones: la primera tiene que ver con el hecho de que una población es un concepto evolutivo, un conjunto de individuos con una cierta información genética que se va transformando. La segunda remite al hecho de que población es un concepto heterogéneo y que denota multiplicidad, argumentos que encontraremos en Deleuze para legitimar el uso de algoritmos genéticos en arquitectura.

Figura 2.16: Charles Darwin. Esquema manuscrito de relaciones genealógicas general en el diario de 1837. *The axis of Evo.*

Figura 2.17: Bell, McCoy y Mushinsky. *Habitat structure: the physical arrangement of objects in space* (Bell et al., 1991)

La otra gran aportación esencial a esta teoría de la evolución es aquella en la que Ernest Mayr, incorpora la idea de pensamiento poblacional escribe:

“el supuesto de un pensamiento poblacional es diametralmente opuesto al que piensa desde las tipologías. Para el modelo basada en tipos, el eidos (tipo) es la realidad y la variación es un supuesto. Muy al contrario, para el pensamiento basado en una población, el tipo equivale a una abstracción y cada la variación es lo que corresponde con la realidad”. (Mayr, 2001)

Mayr propuso, en su libro *Sistemática y origen de las especies*, dos nociones que permiten comprender cómo se forman las nuevas especies: el concepto biológico de **especie** y el modelo de **especiación** geográfica (Mayr, 1942).

El concepto de especie, se usa para designar una clase o familia de objetos o individuos similares que corresponden a ese nombre. Lo relevante de dicha definición es que implica evolutivamente asumir que una especie es una población reproductivamente aislada, por lo que constituye un linaje evolutivo separado reforzado por una serie de barreras que pueden ser de carácter geográfico o biológico. El proceso de alteración de esa especie se produce a través de la especiación: modificación de ese aislamiento a través del entorno. En la figura adjunta se muestra una distribución típica y los parámetros de interacción entre especies^{2.17}

El pensamiento poblacional es hoy en día el único modo de describir ese concepto de especie que se maneja en biología. Es relevante debido a que aporta información sobre la morfo-génesis, que determina la consecución formal de los individuos de la especie.

Como conclusión puede decirse que el pensamiento tipológico está basado en pensar en la evolución como la adecuación de los tipos a los cambios. Tipos que vienen definidos por unas características morfológicas perfectamente identificables. Por el contrario, el pensamiento poblacional define las especies por sus procesos morfogenéticos (por los procesos que han generado su forma final). Enfoques eternamente separados por la noción de proceso.

Para incorporar el pensamiento poblacional al diseño arquitectónico debemos entender cómo la biología explica los procesos morfogenéticos de este concepto de especie, en particular en lo referente a las diferencias entre genotipo y fenotipo, que ratifican lo expuesto por Darwin previo a consideraciones poblacionales. La distinción terminológica entre ambos se cifra en:

“(...) el material genético en sí mismo es el genoma (haploide) o genotipo (diploide) que controla los mecanismos de generación del cuerpo de un organismo, y todos sus atributos: el fenotipo. Este fenotipo es el resultado de la interacción del genotipo con su entorno durante su desarrollo. La amplitud de variedades de fenotipos producidos a partir de un determinado genotipo bajo diferentes condiciones ambientales se denomina normas de reacción.” (Mayr, 2001)

Es el fenotipo el que está expuesto a la selección natural, nunca el genotipo. Es lo que los biólogos denominan procesos morfogenéticos. Y cuando se refiere al estudio de la especie humana u otros invertebrados, se denomina embriología. Define la génesis de su forma, el proceso de un organismo desarrollándose mediante tejidos y órganos diferenciados.

Este despliegue se denomina diferenciación (especialización) progresiva. Es este proceso de diferenciación que define la aparición de una forma determinada la que nos permite hablar de un concepto transdisciplinar entre arquitectura y biología.

Desde un punto de vista biológico, se define la especie como la unidad reproductiva, es decir, el conjunto de individuos con capacidad de producir descendencia fértil por cruzamiento entre sus miembros.

Desde una perspectiva evolutiva, las especies son grupos de organismos reproductivamente homogéneos, en un tiempo y espacio dados, pero que sufren transformaciones con el paso del tiempo o la diversificación espacial.

Esto es esencial para significar y anticipar por qué en arquitectura que trabaja bajo supuestos de optimización desde un planteamiento evolutivo, se opera con “especies” frente a la tradicional dinámica de diseñar con “tipos”. En el esquema que se muestra en la figura anexa 5.9 el trabajo de Alexis Tummer del Laboratorio DRL de la AA, sobre desarrollos de envolventes desde el planteamiento evolutivo en el que se asocian procesos de aptitud (fitness) a un modelo de partida que se itera hasta un número muy elevado de generaciones para garantizar procesos poblacionales en diseño generativo.

2.3.4. Diseño con Algoritmos Genéticos en Arquitectura

Como análisis final de antecedentes relevantes que guardan relación con la metáfora biológica, se refiere este apartado al marco de diseño arquitectónico que emplea procedimientos evolutivos.

Se trata de un aspecto esencial en el desarrollo computacional de la arquitectura que en la actualidad se desarrolla en numerosos entornos de investigación que se describen en el capítulo 5 de esta tesis.

El motivo fundamental de la estrategia genética en procesos artificiales no es otra que la obtención de una amplia familia de soluciones válidas a una cuestión determinada, para elegir de entre ellas la más apta. Ahí reside la razón de que su empleo se diversifique en una gran cantidad de campos disciplinares: microbiología, física, redes neuronales, arquitectura, diseño, política, modelos demográficos, etc.

Un proceso evolutivo replica los procesos naturales para la generación de una población de diseños alternativos. Se simula un proceso de selección natural donde las soluciones más óptimas a una cuestión de diseño incrementan sus posibilidades de ser elegidas para reproducirse. El proceso de reproducción generará nuevos diseños que heredan algunos rasgos de los predecesores pero tienen algunos rasgos enteramente nuevos. Existen multitud de algoritmos de tipo evolutivo siendo los más utilizados en arquitectura los algoritmos genéticos.

Los Algoritmos Genéticos (Holland, 1992) fueron desarrollados por John Holland y su equipo de investigadores durante la década de los sesenta. Su objetivo esencial consistió en estudiar el fenómeno de adaptación tal y como ocurre en la naturaleza y desarrollar las vías por las cuales estos mecanismos de adaptación natural pueden ser importados a sistemas computacionales. Describió formalmente los algoritmos genéticos como una abstracción de la evolución biológica; el algoritmo mantiene una población de *individuos* donde cada uno consiste en un genotipo y un fenotipo. Mediante el empleo de una selección natural junto con operadores de cruce, mutación e inversión, el algoritmo es capaz de saltar de una generación a otra. Los individuos menos aptos no generan descendencia y los mejor adaptados pasan su información a la siguiente “vuelta” genética. De este modo la población está permanentemente alterada, sobre la premisa de que cada generación está ligeramente más perfeccionada para un cierto entorno que la anterior.

El procedimiento genérico para el desarrollo de un sistema evolutivo consiste en cuatro fases principales: inicio, generación de propuestas de diseño, establecer predicción de rendimiento y crear poblaciones; en realidad la generación de individuos se produce desde la fase inicial pero es a través de la evaluación que se depuran las propiedades del proceso desde el enfoque poblacional. Esta estrategia abandona las referencias biológicas de modo que el genotipo pasa a ser el código script y el fenotipo pasa a ser la propuesta de diseño. Como puede verse en el trabajo de Theres Tierney, el uso de al-

Figura 2.18: Therese Tierney. *Leaf System*. Desarrollo matricial de operaciones genéticas de bifurcación de elementos ramificados (2007)

goritmos genéticos para evolucionar una forma simple puede realizarse por operaciones de una única evolutiva, en este caso, desarrollo de sistemas-L de crecimiento arbóreo.^{2.18}

Tal y como se ha desarrollado en los epígrafes previos de estos antecedentes, la selección natural se establece sobre la base de la influencia del entorno en una población de individuos que se van adaptando, depurando sus características genéticas para sobrevivir en el mismo. Es importante subrayar la noción de entorno como preexistencia con la que la población de individuos establece una relación de cooperación. Este concepto es esencial puesto que permite entender que la evolución opera según las leyes fundamentales de la física en entornos cuya voluntad es alcanzar el estado de equilibrio. Esto será relevante para una novedosa utilización de los algoritmos genéticos en arquitectura como procuradores de soluciones precisamente basadas en dicha cooperación.

De este modo, la utilización de algoritmos genéticos en arquitectura optimiza materia, energía y proceso de formación (construcción) sin sacrificar ninguna función de creatividad.

El itinerario del diseño con Algoritmos Genéticos en arquitectura se traza triangulando las aportaciones de Manuel de Landa, Deleuze y Holland.

En su artículo *Deleuze y el uso del Algoritmo genético*, Manuel de Landa⁵ esgrime una serie de argumentos a favor de un planteamiento de evolución intrínseca de la forma, que parte de iteraciones y adaptaciones sucesivas de un modelo inicial. Expone que las simulaciones evolutivas establecen relaciones entre el material genético de un individuo y los rasgos o aptitudes físicas que éstos generan. De alguna manera estos procesos automáticos sustituyen a una parte del diseño pero otra parte, quizás la más esencial del proceso de análisis y elección de las soluciones, sigue siendo vigente.

La evolución virtual debe utilizarse para explorar un espacio en el que el diseñador pueda considerar todas las configuraciones potenciales de antemano, y sobre ellas, ser capaz de elegir el desarrollo de la óptima.

Gilles Deleuze, fascinado por trasladar los atributos generativos de la biología a modos del conocimiento con proyección formal. Manuel de Landa explica cómo Deleuze considera que el uso productivo de algoritmos genéticos necesita el despliegue de tres formas de pensamiento filosófico: poblacional, intensivo y topológico. Deleuze las reunió por primera vez e hizo de ellas la base de un nuevo concepto en la génesis de la forma.

El pensamiento poblacional (que de nuevo entronca con Darwin y Mendel) parte de la idea colectiva de que es la población completa y no el individuo la matriz de producción de la forma. La arquitectura de cualquier planta o animal evoluciona lentamente a medida que los genes se propagan en una población extensa, de modo que se sintetiza una nueva forma en el

⁵de Landa, Manuel, *Deleuze and the use of genetic algorithm in architecture en Architectural Design*

Figura 2.19: Saaded Travia Schematic of the hybrid master slave genetic algorithms neural networks HGANN 2013

Figura 2.20: Adaptive Architectural Skins And Dynamic Environmental Conditions (2013)

seno de la gran comunidad reproductiva. Ocurre de manera similar en una estructura arquitectónica compleja. No se puede ver la evolución en un único ejemplo, y es necesario trabajar de manera simultánea con familias de ejemplares. Esto conlleva una importante consideración: el papel del diseñador se ha modificado radicalmente para transformarse en un criador de posibles soluciones, sobre las que las decisiones intuitivas radican la elección y decisión de los criterios de evaluación.

Al pensamiento poblacional Deleuze añade otra dimensión cognitiva: **el pensamiento intensivo**. Se refiere a que una entidad arquitectónica goza de propiedades que no son divisibles, y por tanto intrínsecas de la función que genera una forma: temperatura, presión, velocidad; permite hablar de procesos que generan forma flujos y energía; las deferencias de intensidad son productivas, puesto que dirigen procesos en los que se produce una diversidad de formas reales.

Como ejemplo puede entenderse que si uno quiere plantear una estructura con capacidad de evolucionar, no basta con dotarle de propiedades extensivas (longitud, peso, volumen) sino que habrá de intervenir en las propiedades que hacen fluir las cargas a través de la materia.

La tercera acepción que Deleuze aplica a los algoritmos genéticos, el **pensamiento topológico**, tiene que ver con la noción de un “plan corporal”. Que es el diagrama que genera un individuo, y que puede ser común a otras

especies. Es esencial encontrar el modo de trabajar con esos diagramas abstractos. En matemáticas, los espacios en los cuales términos como longitud o superficie constituyen nociones fundamentales se denominan “espacios métricos” los arquitectos trabajamos con la geometría proyectiva como herramienta fundamental de abstracción y operación. Sin embargo en otras formas de geometría como la diferencial o la topología una serie de propiedades invariantes abstractas. Esas invariantes topológicas, como la dimensionalidad de un espacio o su conectividad, son precisamente los elementos necesarios para empezar a pensar sobre planes corporales, o sobre diagramas abstractos.

Es por esa razón que un algoritmo genético aplicado a una estructura arquitectónica debe empezar con un edificio o estructura abstracta para garantizar la productividad combinatoria.

En cada uno de los casos implica trabajar con múltiples unidades ligeramente diferentes unas de otras, que consideradas en su conjunto hablan de las citadas propiedades. El papel del criador trasciende entonces el de creador, generando toda la producción a través de diagramas con capacidad de evolucionar; El proceso de diseño diferirá bastante del tradicional que opera con espacios métricos y utilizará como objeto elemental de diseño las conectividades y otras variantes topológicas. Los arquitectos que quieran utilizar algoritmos genéticos, deberán ser capaces no solo de crear código que reúna aspectos intensivos y extensivos) sino de acceder a la termodinámica, las matemáticas, y otras áreas de la ciencia para explotar los recursos necesarios.

2.3.5. Ecosistemas. Traslación arquitectónica de argumentos

En este epígrafe se establecen las condiciones de contorno de desarrollo de nuevos fenotipos. Es por ello fundamental describir cómo afecta el entorno a través del ecosistema en que habita.

Si consideramos un ecosistema como un sistema programable, se nos ofrece una oportunidad para el trabajo del arquitecto que explora comportamientos y fenómenos naturales reproducidos de manera artificial. A estos se les puede aplicar un esquema evolutivo puesto que puede reproducirse: del individuo o diseño inicial se generan nuevos, replicando y transformando la información genética de los originales (ancestros). Evolucionar significa transformarse por la macla de dos procedimientos simultáneos: mutación y cruce, aprovechando las mejoras del individuo. Las estrategias de evolución son fundamentales para garantizar la supervivencia de un ecosistema, sean naturales o no. Pueden producirse a nivel parcial y son iterativas. Pero un ecosistema puede saturarse de una particular estrategia: necesita diversidad para garantizar el equilibrio relativo mediante estrategias de cooperación y competencia.

La ecología humana estudia la condición antropológica de la realidad

desde el individuo, la colectividad y su interacción con el entorno. Se trata de una perspectiva relacionada con la sociología además de la antropología cultural, la psicología social la demografía y la geografía humana hunde sus raíces en la variación biológica. Estudia las conexiones de la población con su ecosistema y supone en sí mismo un método por el enfoque de la selección que hace de sus contenidos: la población adaptada por la cultura y el espacio (que se compone de organización social y tecnología) a un medio ambiente para sobrevivir.

Los sistemas ecológicos tienen al menos cinco rasgos que los caracterizan (Brown et al., 2004):

- Están compuestos de múltiples partes; muchos contienen cientos de billones de organismos individuales y millones de especies.
- Los sistemas ecológicos son sistemas abiertos que se mantienen lejos del equilibrio termodinámico mediante la transformación de energía y el intercambio de organismos y materia a través de sus límites difusos
- Son sistemas adaptativos, y responden a los cambios del entorno mediante ajustes de comportamiento individuales y mediante cambios genéticos en los atributos de comunidades completas.
- Los sistemas ecológicos desarrollan una evolución histórica de carácter irreversible puesto que los individuos están relacionados genéticamente según un patrón jerárquico y lineal en el tiempo de progenitores y descendientes. Esos logros evolutivos no pueden deshacerse.
- Los ecosistemas despliegan una gran cantidad de comportamientos dinámicos no lineales.

6

Los arquitectos modelamos ecosistemas artificiales y construimos partes de ellos, sobre la base de su vinculación a un sistema de orden superior.

Para el presente trabajo desde la condición de antecedente, se toman algunos conceptos muy específicos de esas condiciones inherentes a un ecosistema. Se debe a que a través de ellos podemos establecer una relación directa entre algunos conceptos de ecología y arquitectura que son biyectivos, tales como *diversidad*, *escala* y *reversibilidad*.

Diversidad Trabajar en la construcción del entorno del hombre desde supuestos del mantenimiento de la diversidad (humana, funcional, paisajística) pasa por la descripción de cambios, que se insertan en las especies existentes o nuevas especies desde sus cualidades, sociales, culturales, figurativas, que generen nuevos modelos de comportamiento. (ya hemos enunciado

⁶James H. Brown. Teoría metabólica en ecología.

que la especiación es el proceso por el que el diseñador genera especies frente al concepto estático de crear tipos)

Si la Ciencia de la ecología estudia las relaciones e interacciones entre una serie de organismos y el medio en el que se desarrollan, es esencial cubrir todo el espectro de funciones e individuos distintos presentes en dicho sistema. Deriva del concepto de diversidad, el de *Ecotono*: lugar de transición entre dos ecosistemas donde se solapan las propiedades de ambos incrementando así la biodiversidad y la proliferación de la vida. Son lugares de oportunidad, ya que como hemos descrito anteriormente, la diversidad garantiza la supervivencia de un ecosistema.

Escala Se puede hablar de un concepto ecológico de escala simétrico a escala en arquitectura: el cambio de atributos y relaciones entre los objetos y el espacio en función de razón dimensional.

Sin embargo el concepto de escala en ecología, adquiere un matiz especial que difiere sensiblemente al concepto que los arquitectos manejamos. En ecología escala es un término dinámico y remite a la acción espacial o temporal sobre un fenómeno concreto; escalar es la transferencia de información entre individuos o poblaciones de distintos tamaños. Los efectos escalares se refieren a cambios en el resultado de un estudio (modelo) debido al cambio de escala en la cual el estudio se desarrolla.

Este matiz incide también en la **reversibilidad**, que tiene que ver con el concepto de escala. En los diagramas de Melanie Mitchel que se describen en el capítulo de logistic maps, dentro de *Complexity, a guided tour* (Mitchell, 2009), describe cómo los organismos pertenecientes a un mismo sistema, desarrollan procesos de adaptación siguiendo patrones donde se llevan en paralelo más de una dinámica. En el diagrama 4.3 y 4.4 adjunto se aprecian dos modelos de simulación distintos de ampliación de dominios de supervivencia.

Finalmente dos conceptos de transferencia: La **resiliencia** es la tendencia a reponer estados previos de equilibrio, y **Emergencia** que es aquella propiedad que emana de comportamientos colectivos que no se pueden dar en un individuo único. Son especialmente relevantes en el diseño de comunidades complejas.

En la realidad urbana, expresión de la ecología humana por excelencia, detectamos ecotonos coincidentes con todos aquellos ámbitos con más probabilidades de evolucionar desde el punto de vista físico y humano: los ámbitos periféricos (donde el tejido urbano se mezcla con el industrial), los enlaces de tejido rural con urbano, los entornos de las infraestructuras, incluso los solapes entre tejidos consolidados, históricos y desarticulados

2.4. ARQUITECTURA

Los antecedentes que se describen en el presente epígrafe recogen varias de las nociones fundamentales de lo ya expuesto como antecedentes científicos previos. Describe modelos, tendencias o situaciones en la historia reciente de la arquitectura que han operado desde la noción de sistema (complejo), de computación, o de entorno evolutivo.

2.4.1. Construyendo con las Leyes de la Biología: Optimización

Si hubiéramos de retomar un pensamiento poblacional en arquitectura, sin duda entronca de manera inequívoca con un desmantelamiento de la idea de tipos arquitectónicos. Tal y como sostiene Manuel de Landa, una especie no se define por rasgos esenciales, sino más bien por los procesos morfogénéticos que lo generan (De Landa, 1997). Mientras el esencialismo (desde la esencia invariable del tipo) describe la especie como algo estático, la morfogénesis es fundamentalmente dinámica.

Acometer la arquitectura como un ejercicio de generación con resonancia biológica se extiende a la creación del entorno en que se desarrolla. Implica diseñar también las condiciones del medio recurriendo a principios de ecosistema previamente definidos de modo que se configura el contexto físico y social. De este modo se garantiza la especiación de una determinada intervención.

La idea, también presente en Reyner Banham (Banham, 1984; Banham y Day, 2009) a través de su *Paradigma de gradientes* (nota de autor), propone que un espacio se construye mediante operaciones sociales y de la experiencia colectiva de dichas condiciones espacio-temporales. Cada individuo crea su propio entorno inmediato modulando su relación material, energética, tectónica y climática. Pero la suma de individuos construyen un entorno colectivo a través de la interacción y formación y la apropiación en tiempo real de espacio heterogéneo.

Es esencial considerar cómo se construye un entorno desde planteamientos donde cada agente del proceso forma parte de un gradiente. Reyner Banham habla de la necesidad de establecer la inserción de nuevos objetos en un ordenado gradiente de entidades construidas.

Aparece así el concepto de diseño orientado a la eficiencia (performance), en realidad al máximo rendimiento formal y material donde cada decisión de diseño viene condicionada por las características de aprovechamiento material y ambiental. Directamente concebidos como diseños donde la optimización de cada uno de los parámetros de diseño remite a una eficacia para la búsqueda del confort. Como acertadamente advierte Luis Fernández-Galiano en su texto *El fuego y la memoria* (Fernández-Galiano, 1991), el confort es

a partes iguales una cuestión energética y tectónica: depende tanto de la combustión como de la construcción.

El ámbito general de esta investigación se refiere a la relación entre ecología y arquitectura siendo ambas disciplinas que operan sobre sistemas.

Según el paradigma orgánico, el sistema completo de la naturaleza sigue patrones evolutivos que se optimizan en función de la situación contextual. En arquitectura cada sistema complejo emula la vida natural y los patrones de comportamiento humanos propician el tránsito del paradigma mecánico al paradigma biológico sobre la base de la adaptación.

Este planeamiento, que surge en arquitectura alumbrado por trabajos de algunos arquitectos pioneros de las décadas de los años 60 y 70 será objeto de una dilatada explicación en el capítulo dedicado a los predicados disciplinares que se despliegan derivados de los logros de ese período.

En el anterior apartado, hemos descrito, los conceptos esenciales y las capacidades generativas de las ciencias de la evolución, grandes atributos de la biología que pueden trasladarse al diseño de un sistema construido. Sin duda una de las características de traslación directa a la arquitectura es la capacidad de adaptación como reacción a unas condiciones externas determinadas. Esto es la base de la optimización: elección de la solución mejor para el rendimiento de un sistema dadas unas condiciones ambientales determinadas.

Los grandes eventos de la historia a escala geológica (descritos en *a thousand years of non linear history* (De Landa, 1997)), nos muestran ejemplos de cómo las especies vivas son el resultado de adaptaciones a los cambios provenientes del medio. En la mayoría de los casos cada transformación está integrada en la supervivencia del ecosistema en su conjunto no de debiéndose a la adopción de una solución particular. Esto es relevante a la hora de trasladar planteamientos no reduccionistas al diseño de un habitat completo.

Analizamos si la adaptación puede ser computacional. Desde ese planteamiento, cabe preguntarse si podemos finalmente diseñar arquitectura que funciona y evoluciona como una máquina viva.

Existe además una clara relación bidireccional en los sistemas tanto biológicos como artificiales: se establece una relación transitiva entre el efecto del medio en lo que diseñamos y el efecto de lo diseñado en el medio.

Lo verdaderamente nodal a la hora de hablar de la influencia biomimética (o la capacidad de comportarse según sistemas biológicos) en el diseño arquitectónico reside en la cuestión fundamental de describir cuáles son los procesos que generan una forma.

Desde el trabajo anticipatorio de D´Arcy Thompson, con algunas de las claves más reveladoras de la forma adaptada a la función (ver figura)2.21, se ha evolucionado incorporando cuestiones de programa, de tecnología y de procedimientos de diseño automáticos, ampliados a través de la Morfoecología, una disciplina interdisciplinar que combina arquitectura y compu-

Figura 2.21: D'Arcy Thompson On Growth and Form (Thompson y Bonner, 1992)

tación evolutiva.

El paradigma biológico maneja como primera ley que cuando una especie animal o vegetal es introducida en un entorno, cambia para adaptarse a él. Pero del mismo modo, también hay una cierta modificación en el entorno receptor para acomodarse a esa nueva condición. En un entorno ideal esa inserción es posible puesto que los ecosistemas mantienen un permanente estado dinámico para garantizar el equilibrio. Los animales y las plantas adaptan su comportamiento, pero es preciso preguntarse qué determina esos cambios, para poder operar en arquitectura.

Por un lado se producen adaptaciones dinámicas, que se deben a agentes constructivos. El modo en que ciertos pájaros organizan su nido para protegerse de los vientos dominantes, o de los castores capaces de generar su propio ecosistema diseñando las condiciones de remanso del agua (incidiendo directamente en propiciar sustrato para especies vegetales pequeñas, reducir el sedimento, purificar el agua, y optimizar el curso de agua para adaptarse a las crecidas y cambios de caudal). Los nidos de termitas están orientados para captar el calor de las horas más frías del día pero eludir las más severas, se modela con aporte estricto de material,. Un salto más sutil incide en casos como el grillo topo que adapta acústicamente su nido subterráneo (Nicholson, 2003).

Por otro lado, contemplamos modelos de adaptación ligados al crecimiento gradual como el de ciertas especies vegetales con similitudes estructurales más directas a una condición tectónica dada la condición de arraigo de la misma. Los árboles distribuyen las cargas en su estructura para evitar la fractura de partes de ésta, y soportar el peso de sobrecargas eventuales. Afectan al medio por procesos simbióticos mantenidos en el tiempo: soporte hídrico, proporcionar sombra, oxigenar y nitrogenar soporte a especies vegetales. El modelo de crecimiento de Lindenmayer, (sistemas-L) son una descripción formal de organismos multicelulares simples y puede testarse en distribuciones estructurales de materia en especies vegetales, de modo que pueden corregir su crecimiento cuando localizan una alteración local de carga (Mattheck, 1998).

El objetivo a alcanzar es aprender de sistemas con demostrada eficiencia

y que se desarrollen en y por un entorno sostenible. Lo que antes constituía un modelo de comportamiento natural que los computadores intentaban reproducir, ahora la computación es un apoyo instrumental para modelizar el comportamiento de los sistemas naturales.

Entre otros procedimientos, la computación emplea la herramienta de la optimización como procedimiento de análisis y de diseño.

Muchas de esas operaciones de optimización parten del método de trabajo inventado por uno de los autores más sorprendentes del siglo, Genrich Altshuller (Altshuller, 1999; Altshuller et al., 1997), en un sencillo pero compilador sistema de análisis del proceso de innovación. Este método sistemático recibió el nombre de TRIZ *Teoría de la Resolución Innovativa de Problemas* cuyo acrónimo ruso era “Teorija Rezbenija Izobretatelskib Zadach”.

A lo largo de su carrera como inspector de decenas de miles de patentes en la antigua Unión Soviética, Altshuller, siguiendo su método de patentes, se vió expuesto al análisis de muchas soluciones para un mismo problema. Como si de una máquina de cálculo combinatorio se tratara, sintetizó un método que lo estructuraba. Gracias a ello se dio cuenta de que las propuestas con más alto nivel de innovación provenían de modos de resolver problemas desde la consideración de “sistema” y no de un problema aislado.

Defendía que hasta el más intuitivo de los inventores necesitaba un método para cubrir las etapas del proceso creativo de una manera ordenada siendo necesario dividir las etapas en saltos asumibles. De este modo, se propiciaba que la cantidad de posibles respuestas a una pregunta podían distribuirse en grupos asociativos que recorrían caminos en paralelo. Desarrolla así un Algoritmo de resolución de problemas, (integración de algoritmos múltiples) sobre la base de que muchas de las instrucciones podían ser incluso contradictorias.

Dada la operatividad del proceso, muchas de las técnicas de diseño de procesos optimizados, dentro y fuera de la Arquitectura, utilizan el método TRIZ.

2.4.2. Diagramas y Procesos Arquitectónicos del siglo XX

Se destina este epígrafe a los antecedentes netamente disciplinares que darán paso al corpus central de este trabajo. En un primer bloque de contenidos, se analiza la condición de sistema complejo que aflora en ciertos modelos arquitectónicos del siglo XX. Se han identificado ejemplos donde el enfoque para generar arquitecturas reside en el proceso y no en el objeto, aunque en ocasiones no sea manera explícita. Encontramos indicadores parciales en ciertos programas, procedimientos de diseño, figuración o sistemas constructivos. La elección de dichos referentes, dejando otros muchos fuera se determina porque presentan alguna influencia reconocible en el contenido principal de esta tesis. La denominación de *modelo*, responde a una descripción amplia de situaciones de diseño arquitectónico que puede afectar desde

un único documento, un proyecto, un sistema o una estrategia personal a lo largo de una trayectoria arquitectónica.

El procedimiento de notación más recurrente para describir procesos, es el diagrama. Acotando temporalmente el espacio desde el inicio del siglo XX, es posible rastrear ejemplos de diagramas que se desarrollan con vocación de red de relaciones entre las partes. En una primera etapa, la ilustración de documentos como tablas, ábacos, compendios, gráficos y mecanismos de dibujo gráfico, permiten establecer correspondencias laterales entre objetos. Pero pronto el uso de los diagramas trasciende lo bidimensional y estático, y se convierte en un documento para describir fenómenos dinámicos, adentrándose en planteamientos de diagramas que apuntan a lo tridimensional. Finalmente, ya próximos a la década de los sesenta, en la que se inicia el camino de inserción de modelos computables, los diagramas adquieren una condición generativa. Son algoritmos donde se funden los modos de construir y de usar. Mapas de un entrelazamiento de información que en definitiva es el documento matriz de un proyecto de arquitectura.

En su libro *Massive change*, Bruce Mau junto con el equipo del *Institute without boundaries* expone un ambicioso proyecto que pretende describir la complejidad de un mundo cada vez más conectado (y diseñado).

For most of us, design is invisible. Until it fails. In fact, the secret ambition of design is to become invisible, to be taken up into culture, absorbed in the background. The highest order of success in design is to achieve ubiquity, to become banal. (Leonard y Mau, 2004)

Mau sostiene que es imposible diseñar entidades aisladas (o diseñar aisladamente) puesto que la realidad del diseño avanzado está dominado por sus tres propiedades: es distribuido, plural y colaborativo.

Para garantizar la conectividad de un diseño a través de un diagrama, el principio operativo es la redundancia (Wigley, 2007). Siempre hay más de un camino recorrible entre dos puntos o nodos, y es la característica principal de la trama de enlaces, con múltiples opciones siendo activadas a un mismo tiempo. Los recursos de una inteligencia distribuida no implican el movimiento de un lugar a otro.

“Una red es un paisaje sin exterior” (Wigley, 2007)

De manera paralela al desarrollo de la ciencia y la industria, se amplían los referentes y el concepto de sistema da fundamento a los manifiestos arquitectónicos del siglo XX. La arquitectura del movimiento moderno se desarrolla en el citado plano horizontal desde muchos puntos de vista. El paisaje político en que se desenvuelve impregnado de igualdad, equidistribución y consignas socialistas. Este entendimiento de el espacio ciudad como base en

Figura 2.22: "Theater Teletype Network" Red de conexiones telefónicas entre agentes americanos en Alemania(1946). Describe el criterio de notación de la relación de nodos y enlaces.

Figura 2.23: Tabla de usos y clases de espacios. Grille CIAM. (1942)

la que insertar puntos y líneas que responden a un concepto abstracto, atrae el mundo conceptual mecanicista de los arquitectos modernos. En los años 20 encontramos a Le Corbusier recopilando diagramas y registros gráficos de redes de comunicaciones, de distribución eléctrica, regulación del tráfico, y diversos mecanismos de almacenamiento de datos. En la figura se muestra un esquema referenciado de las redes telefónicas en Alemania.^{2.22} A lo largo de la década posterior, Le Corbusier incorpora varios de los sistemas organizativos que ya había explorado en su *Las artes decorativas de hoy*, donde amplía una visión que va más allá de una organización espacial en planta. Aún a pesar de que trabaja sobre planos y maquetas convencionales, apunta modos de entender los puntos de conexión de la ciudad como nodos de movimiento, energía y condensación constructiva para una propuesta a escala urbana. Su interés se centra en un análisis de los enlaces programáticos en un sistema urbano a través de representaciones en un denso registro de líneas de conexión (Corbusier, 1925). Sin embargo, aún a pesar de detectar la pulsión de esos flujos de energía plasmados en diagramas físicos, Le Corbusier no emplearía el concepto funcional de red hasta describir sus patrones de tráfico en la Ciudad Radiante de 1933 (Corbusier, 1935).

Los diagramas que pueden identificarse en ese período tienen vocación de instrumento de operaciones. Tomemos la tabla *CIAM Grille* del Catálogo del Congreso CIAM de 1942, adjunta ??, que describe el método para distribuir organizadamente la información para proyectos urbanos desarrollado junto a ASCORAL (Assemblée de Constructeurs pour una Renovación Architecturale). Nos encontramos ante un documento abstracto, matricial, que permite establecer combinaciones de usos con posibles espacios asociados; alejando la toma de decisiones parciales, según Mark Wigley “*la jerarquía se desvanece y es sustituida por la superposición de conexiones*”. Puede argumentarse que la jerarquía simplemente se organiza de otro modo, basado en un orden temporal de entrada en uso.

Muy distintos son los diagramas, que el propio Le Corbusier (Corbusier, 1925) utiliza para su explicación del proceso generativo de la Ville Radieuse,^{2.25} donde recupera por un lado la notación estricta de dibujo sintético a mano alzada, entre lo literal y lo simbólico, un documento mucho más inmediato intrínseco de la disciplina, pero por otro lado se entrega al uso del diagrama abstracto reducido a la estricta geometría dimensional de la propuesta como se muestra en el montaje adjunto 2.24. Es pertinente indicar que quizás esté mal empleado el uso del término diagrama para referirnos a este documento, debido a una consideración semántica que corresponde ya al siglo XXI.

Allí donde la tabla es un mecanismo que apoya la organización racional de un espacio indiferenciado, el croquis despliega el potencial de significado espacial y figurativo puro.

El momento posterior a la Segunda guerra mundial marca un interesante

Figura 2.24: LeCorbusier montaje de esquemas geométricos de organización para la Ville Radieuse

Figura 2.25: LeCorbusier croquiza sobre un diagrama de funcionamiento de su Ville Radieuse

punto de ebullición en el desarrollo práctico de los conceptos de sistema a través de las infraestructuras. El planteamiento de placa de circuitos era especialmente adecuado para el diseño urbano, dado que el objeto del mismo se centra en la distribución de objetos a lo largo de un territorio, y regular los solapes de los diferentes flujos a varias escalas. Las ciudades son máquinas de procesamiento en paralelo de modo que sólo pueden ser sistemas. De hecho, los edificios son una inserción vertical, una discontinuidad en una base horizontal de relaciones; elementos singulares en la estructura de una malla de comunicaciones.

Uno de los ejemplos paradigmáticos se encuentra en el plano de desarrollo urbano de Philadelphia de 1951-1953 de Louis Kahn, representada como una densa trama de circuitos de flujos y vectores con indicaciones de dirección de flujo y gradiente de caudales de la retícula (Kahn, 1952). La condición específica de ese diagrama, que lo significa frente a otros similares, es un modo de representación intencionadamente escueto donde desaparecen las referencias geográficas y arquitectónicas, no hay manzanas, ni parcelas tan sólo se detecta la escala por las dimensiones de los flujos. Otra de las características esenciales es que la red inunda también los propios edificios. Como se aprecia en las ilustraciones 2.26 y 2.27 Kahn inserta sobre dicha un punto de atracción representado como un rotor de actividad, que es la conexión vertical con la torre de City Centre. Aún representando un dibujo tan esquemático en planta, incorpora información tridimensional. La organización interna de los edificios se convirtió en un circuito en sí misma, el flujo de información y materia, cada vez más presente en la generación de los proyectos, se traslada a las construcciones.

El anhelo de convertir el plano de arquitectura en un circuito base alcanza su máximo exponente teórico en las propuestas y escritos de Christopher Alexander (Alexander et al., 1977) y Serge Chermayeff (Chermayeff et al., 1968). Aunque el mundo de las conexiones en arquitectura es netamente tridimensional, la conectividad se visualiza en un plano horizontal. Es la planeidad de una placa de circuitos la que permite establecer ese mundo de relaciones espaciales, y lo que sería más importante a partir de ahora, la alterabilidad en el tiempo. Esto evolucionará hacia los *mat buildings*, con ejemplos como el plano para Berlin de los Smithson, donde lo horizontal adquiere una dimensión de espesor capaz de alojar al propio edificio continuo. Siguiendo un crescendo de escala entre Van Eyck, Candilis, Le Corbusier hasta la *New Babilon* de Constant (Wigley y de With, Rotterdam), 2.28 todos ellos apoderan la propiedad de ser infinitamente extensibles, debido a la ausencia de restricción en los límites. Un edificio red o un edificio tapiz no tiene bordes. Archizoom No stop city y Superstudio supersuperficie, así lo declaran.

Este tratamiento documental del diagrama que trasciende la trama plana, puede encontrarse en otros proyectos próximos ya a la década de los sesenta. Para el diseño del pabellón Phillips de Bruselas en 1958 (2.29) Le Cor-

Figura 2.26: Diagrama de flujos para la ciudad de Philadelphia. Planta general Louis Kahn (1942)

Figura 2.27: Diagrama de flujos para la ciudad de Philadelphia. Desarrollo de nodos Louis Kahn (1942)

Figura 2.28: Diagrama de Constant Nieuwenhuys New Babilon Nord (1971)

busier trabaja de manera conjunta con Iannis Xenakis (Xenakis, 1992), que desarrollaría para él la compleja geometría; una superficie alabeada descrita en términos matemáticos pero donde están presentes las instrucciones constructivas y acústicas. Se convertirá en modelo tridimensional para proyectos posteriores, como el prototipo de ciudad cósmica. (Marin, 1984). En sus diagramas de descripción constructiva, Xenakis concentra en un documento único las claves geométricas, energéticas y constructivas de un modelo completo de asentamiento humano. Un ejercicio de síntesis basado en claves de notación abstracta a los límites disciplinares. Un cometido en que el propio arquitecto da las indicaciones para descifra el espacio a partir de masas de puntos referenciadas en un espacio tridimensional. En un momento en que la representación de la figura sigue siendo por proyección plana, se apuntan documentos con capacidades generativas. El modo de aproximarse es por el recuento de coordenadas de cada punto, una técnica que apunta procesos digitales. ver figura 2.30 Este planteamiento documental, anticipa cuestiones de absoluta vigencia, eliminando el uso de líneas, y estableciendo que las uniones son invisibles. Marca una clara diferencia con otros planteamientos previos, puesto que convierte la información geométrica en puntos con información y estado, nociones presentes en modos trabajo paramétricos y con Giga mapping.

Finalmente, establecemos una referencia a los diagramas evolutivos. Se convierten en el documento que marca el desarrollo temporal de una estructura arquitectónica compleja que continúa horizontalmente en el proyecto de la Universidad libre de Berlín de 1964 de Candilis y Woods. Quizás el más

Figura 2.29: Le Corbusier con Iannis Xenakis construcción del Pabellón Phillips, Bruselas (1958)

aclamado de los rascacielos horizontales o *groundscapers*. Está concebido como una *thinking machine* como máquina que piensa por la incorporación y mezcla de distintos modos de pensamiento.

Se trata de un ejercicio de abandono de la disposición de objetos en un campo de operaciones; el campo se convierte en el objeto.

El diagrama de los arquitectos de la “idea e universidad” promete una suerte de líneas de trazos discontinuos donde se mezclan distintas formas de información en aras de la eliminación de las barreras o envoltentes construidas. El resultado es un espacio fluido, aún a pesar de su carácter modular, que se va generando en función de las necesidades disciplinares que alojan.

Este concepto encuentra una referencia directa a los planteamientos que se describen pormenorizadamente en el capítulo tercero con especial referencia al laboratorio *Architecture Machine* de Nicholas Negroponte y con especial significación a los proyectos de Cedric Price. En ese momento, Yona Friedman está publicando su *L'Architecture Mobile*,^{2.31} y está proponiendo el modelo desarrollado junto a Eduard Shultze-Fielitz de una ciudad elevada sobre París. Se trataba de desarrollar el concepto de vivir en una infraestructura al tiempo que sobre estructura con las propiedades de servicio necesarias cubiertas y con la propiedad esencial de poder desarrollarse, extenderse en el espacio. El concepto de movilidad, aparece con rotundidad en un momento de cuestionamiento del modelo inalterable de las ciudades reales. El

Figura 2.31: Yona Friedman. L'Architecture Mobile, Plan para Paris (1958)

trabajo de Friedman, tal y como se describe más adelante está sustentado en una estricta dinámica de espacio ecuidiano matemático y el protagonismo indiscutible de las motivaciones de participación de los usuarios.

Estos proyectos de algún modo se engloban en el inventario de esfuerzos encaminados a hacer tridimensional la libertad otorgada por el orden horizontal de los sistemas (Banham, 1976).

El antecedente más directo a espacios proceso se enmarcan en las utopías de los años sesenta. Encontramos que no existen proyectos que no sean descritos o lleven asociado un diagrama en su descripción. Desde Archigram a Constant, Superstudio o Friedman, el diagrama pierde cualquier carácter representativo y se convierte en un documento transformativo. 2.32

El número 7 de la revista de *Archigram*, incluía un *Cut-out Puzzle*, un diagrama 2.33reconvertido en recortable para la construcción y configuración libre según de una serie de pequeños módulos de varios proyectos del grupo: un living pod de David Greene, una casa ampliable de Mike Webb, una cabaña de Cedric Price, una estructura rampa de Tony Dugdale y un puente de Peter Cook, incluso una estructura icosaedro de Fuller. La significación de este documento se cifra en varias cuestiones: por un lado, se trata de un documento que incita a la participación; por otro, establece una dimensión instrumental de documento de uso, puesto que se transforma en una entidad tridimensional.

Coincidiendo con las primeras incursiones de la arquitectura en la cibernética, y las voluntades de reivindicar un espacio flexible y reconfigurable, una serie de arquitectos comienza a trabajar sobre un sistema tridimensional que inunda todos los ámbitos de la vida. El espacio de habitar, de trabajar y relacionarse propaga sus propiedades al ámbito de ciudad, que aloja una comunidad diversa al tiempo que solidaria. En las propuestas de Archigram, Ron Herron, Peter Cook, Dennis Crompton y Mike Webb, cada lugar implica vivir en el circuito de la vida (Cook y , Group).

Figura 2.32: Archigram. Ilustración para el número 39 de AD (1969)

Figura 2.33: Archigram *Seven* (1966)

En este extenso linaje de arquitectos desde Fuller a Wachmann, pasando por Archigram, Archizoom y Superstudio se puede identificar un proceso de computación detrás de cada diseño y detrás de cada decisión de gobernanza de la ciudad y su espacio. La tecnología libera al hombre de su dependencia física y del trabajo manual.

Estos modelos manejan siempre la escala urbana. Parecía más inmediato como tablero al que incorporar complejidades de distintos órdenes. Para tener una descripción completa del funcionamiento del sistema es necesario poderlo describir en su conjunto. Otra de las consideraciones, ya apuntadas en las visiones futuristas de las vanguardias de principios del siglo eran las visualizaciones de los sistemas horizontales desde planos aéreos.

Las propuestas de Peter Cook para la ciudad incorporan de manera obligada los diagramas de funcionamiento. La actividad queda ya perpetuamente reflejada como descriptora de cómo se configurará el espacio. Aunque el despliegue formal de Cook es indudable, está internamente gobernado por un orden funcional legitimado por una gran coherencia de las infraestructuras. Como veremos más adelante, el caso de Price vendría a romper figurativa y generativamente esa explosión figurativa.

El enlace se establece con un proyecto de Dennis Crompton. Las ciudades, como la Computer City de Dennis Crompton, 1964 se concibe como una red de flujos, de gente, de energía de mercancías, y por encima de todo, de información. La expresión gráfica de ello se plasma en una serie de circuitos interconectados, se dibujan siguiendo códigos de la industria electrónica, aportando un lenguaje formal inédito a la organización espacial también de la arquitectura. El modelo de arquitectura es en sí mismo un programa abierto de espacios y funciones intercambiables. La propuesta, descrita en axonométrica está conscientemente desconectada de cualquier emplazamiento físico reconocible de modo que es extensivo al plantearse como ampliable y abierto a evolución. La red se extiende de nuevo por un territorio geográficamente sin límites, retomando la herencia de la Universidad libre de Berlín.

Crompton propone este esquema como base sobre la que podían anidar otros proyectos de sus compañeros de Archigram. En concreto, establece una base para insertar secciones del *Plug-in city* de Peter Cook. Como guía de uso, en el propio diagrama se incorpora el programa y las relaciones en una leyenda horizontal en el margen superior del diagrama. ver figura 2.35

Se produce un acercamiento claro a los nuevos escenarios de exploración de la cibernética también en lo relativo a los documentos: En el mismo número *Archigram Seven* de 1966, titulado *Beyond architecture* el grupo archigram incorpora una decisiva reflexión acerca de la computación y cómo los procesos adquieren peso en la configuración de la arquitectura; conscientes de que se abre ante ellos un escenario de posibilidades extraordinarias para su anhelado conjunto de programas arquitectónicos abiertos, con una traslación de espacio también abierto. La imagen de portada, un diagrama de un

Figura 2.36: Archigram *Seven* (1966)

telar sugiere la relación directa entre la urdimbre y el bastidor, entre el espacio arquitectónico y la herramienta, apoyado en una trama indiferenciada e isotrópica.

En el documento *Crowd*, 2.36 del catálogo de la Exposición *Living City* de 1962 aparece una ilustración, cuyo autor no se ha identificado, que plantea el concepto de gestión de la población según mecanismos computacionales, con una significativa ilustración donde se utiliza como analogía los procedimientos de procesamiento de datos con tarjetas perforadas como mecanismo de ordenación de operaciones trasladando a la máquina ciertas decisiones de ordenación del espacio.

En una clave de despliegue estructural tridimensional, con similar isotropía, Constant define en los inicios de su ciudad cubierta de 1959 como una red extensible y reconfigurable a escala mundial donde es posible el diseño espontáneo (Wigley y de With , Rotterdam). La infraestructura técnica se empaqueta de tal modo, que permite el libre crecimiento tridimensional del propio tejido urbano construido sobre un andamiaje fácilmente desmantelable. La red no es sólo un espacio para un movimiento libre sino un espacio libre para inventar nuevas formas de movimiento.^{2.37}

Se ha expuesto cómo los diagramas de circuitos establecen un mapa ontológico de relaciones que han servido para desarrollar, o al menos enunciar algunas de las grandes propuestas arquitectónicas de los últimos cincuenta años.

Figura 2.37: Constant. Estudio de sectores para *New Babilon* (1968)

El diagrama de conexiones es un documento heredero de una escenario mecanicista, lejos de los diagramas conceptuales manejados con efectos representativos, de clara orientación social. Un esquema de funcionamiento que define partes, como se entrelazan y su papel en el funcionamiento general del sistema es producto del desarrollo industrial y el advenimiento de las máquinas; para operarlo se hace necesario una guía o manual de instrucciones (Giedion, 1948).

En algunos de los casos descritos anteriormente, un mismo documento de carácter arquitectónico engloba el programa, la tecnología, el manual de instrucciones, las ordenes de desmontaje, incorporando un documento especial de mantenimiento y subsanación de averías. En el diagrama de Ron Herron y Barry Snowden para su Free Time node, el polanteamiento es similar al esquema de Peter Cook, donde las conexiones describen espacialmente la escala de la ciudad^{2.38} Desvela las claves generativas del propio diseño puesto que explica las leyes por las que se relacionan los elementos del sistema. Es por esa razón que es tan operativo como herramienta que puede trasladarse a dominios digitales.

Procede como cierre de este recorrido la descripción de una última propiedad explorada por los diagramas, que tiene que ver con su capacidad para convertirse en un instrumento con profundidad. Se trata de un dibujo con significados anidados que, en ocasiones remite a un espacio de descripción por capas. Esto resulta muy relevante para la descripción de territorios desde un enfoque casi arqueológico.

Stan Allen ya pone de manifiesto en sus escrito sobre notación (representación) *“mapping the unmappable”*, la importancia de reflejar el proceso en los diagramas descriptores de un sistema arquitectónicos (Allen y Agrest, 2000). *Las teorías de campos deshacen el concepto de lugar elevando los*

Figura 2.40: Rem Koolhaas. Diagrama estratificado de programas. Propuesta para el concurso del Parc La Villete, París (1982)

documentos de dibujo arquitectónico a un nivel superior de complejidad, incorporando los fenómenos y las ontologías solapadas por capas. Es por esa razón que el concepto de score se traslada a la ciudad que es entendida como una sucesión de elementos sincrónicos. Scoring the city 2.39

Un dibujo que expresa información por capas enfatiza las posibilidades asociativas de un espacio. Encontramos un ejemplo esencial en tres de las propuestas presentaron para el icónico concurso del Parque de la Villete en París de 1982, que analizamos a través de sus diagramas de funcionamiento. Nos referimos a las correspondientes a Bernard Tschumi, Cedric Price y Rem Koolhaas. 2.40

Por un lado encontramos la propuesta de Bernard Tschumi, donde establece el programa desde una serie de movimientos que operan en planos paralelos; aún a pesar del lenguaje figurativo trazado desde los nodos de las Folies se encamina hacia el deconstructivismo, rompe una tradición de

Figura 2.41: Cedric Price. Propuesta para el concurso del Parc La Villete, Paris (1982)

conceptualización en un “pensamiento de recintos” Tschumi lo desarrollaría en su texto *Architecture and Disjunction* (Tschumi, 1996). El diagrama deja abiertas intervenciones de otros autores y establece un claro planteamiento de evolución a largo plazo. La incorporación posterior de Eisenmann y Derrida para el diseño de uno de los jardines, extiende el proceso hacia un marco ampliable.

Otra de las propuestas es la que firmaba Cedric Price. Aunque menos notoria gráficamente dentro del despliegue general de dicho concurso, Price recupera una noción planteada en su proyecto *Generator* de diseño de un paisaje de indeterminación a través de instrucciones procedentes de una computadora. En él los propios usuarios plantean los programas sobre unos recorridos básicos que enlazan ambos lados del canal. Al igual que en el caso de Florida, Price propone un esquema básico de infraestructura lineal sirviendo de todo el emplazamiento (marcado con unos poderosos trazos de color azul) al que se van enganchando diversos usos; el perímetro se resuelve con una operación paisajística intencionadamente que delimita los contornos del parque. ver figura 2.41

Sin duda el gran ejemplo de aquella convocatoria es la propuesta presentada por Rem Koolhaas gobernado por un despliegue vertical del propio territorio el que deshace el concepto de programa estático. Se trata de una solución que anticipa los mapas relacionales que más adelante serían el modo natural de plantear trabajos a nivel territorial (Koolhaas y Avia, 2006).

La suma de esos tres documentos anticipa un escenario que es relevante. Llamamos mapas relacionales a aquellas cartografías sumatorio de documentos que por comparación de distintas familias de datos, son capaces de develar, *hacer emerger* informaciones operativas para el tránsito por el mundo y la inserción de diseño en el mismo. En realidad va más allá de entrelazar información y radica en el hecho de generar un mapa dinámico y que cambia de configuración. Eisenmann, estrecho colaborador de Tschumi en ANY magazine nos aproximaría a la importancia de estos procesos para alterar y distorsionar la malla modular ordenada como tablero único sobre el que trabaja el arquitecto. Eisenmann demuestra las capacidades de los fenómenos de atracción y flujo para desmontar el orden isótropo y acercarlo al concepto de topografía “decisiva” (Eisenman, 2004). Sería el propio Sanford Kwinter quien encuentra la formulación perfecta para efecto que llama “*Exfoliating of the Grid*” (Kwinter y Davidson, 2007).

2.4.3. Precedentes Cibernéticos y de Computación en Arquitectura

Para trazar una breve historia de la relación entre arquitectura y computación, resulta esencial comprender la importancia del término cibernético, puesto que delimita un campo semántico que ha evolucionado de manera paralela en ambas disciplinas, además de la tecnología de la información en general.

En la introducción de *Cyber-reader*, Neil Spiller realiza un recorrido por territorios entrelazados de cultura popular y tecnología que de alguna manera han sido el origen y entorno vital de la computación: *esto se ha popularizado en uso y en transformación con lo cual ha pasado de ser una disciplina científica o académica a ser un producto de la cultura*. cite Spiller2000.

El modo en que en el presente texto se acota dicha historia tiene más que ver con la metodología de análisis elegida para la misma que radica en el concepto de sistema, de código y de proceso, con especial rigor en su aplicación a aquellos que incorporan participación.

Algunos de los conceptos generadores que hoy forman parte del modo en que hacemos arquitectura son anteriores a la aparición de los propios ordenadores: las geometrías no euclidianas, el diseño abierto, las relaciones dinámicas, los flujos y la integración de modelos naturales. Pero sólo gracias al desarrollo de ciertas tecnologías computacionales ha sido posible ir construyendo los entornos tecnológicos y conceptuales capaces de materializar esas líneas de trabajo.

En el período que discurre entre los años cincuenta y los años setenta, esos conceptos avanzan líneas vanguardistas de trabajo jamás planteadas previamente, en una profunda inmersión en la realidad social y tecnológica del momento. Queda en suspenso, sin embargo, un desarrollo material de las

Figura 2.42: Imagen del catálogo de la exposición Cybernetic Serendipity (1968)

mismas debido a la inmadurez de las técnicas instrumentales y constructivas.

Varios son los autores cuyo trabajo ha girado en torno a recopilar la historia del paradigma digital en arquitectura. Tanto Mario Carpo (Carpo, 2012), como Neil Spiller (Spiller, 2002) como más recientemente Lluís Ortega (Ortega y Zaera-Polo, 2009) coinciden en situar el inicio de la historia de la cibernética en arquitectura a finales de la década de los 60 con dos momentos de inflexión en el transcurso de la incorporación a la arquitectura de la Tecnología de la información y la Comunicación.

El primer momento de inflexión es la exposición organizada en el ICA (Institute of Contemporary Arts) de Londres en 1968 bajo el título *Cybernetic Serendipity* (Reichardt y ICA, 1969). (ver portada del catálogo de la exposición) 2.42 Un compendio de aventuras de investigación, con el sustrato de lo digital de base, que iban desde la ciencia, la matemática, el arte, la poesía, la música y la arquitectura. Indudablemente el valor reside en el enunciado amalgamante y multidisciplinar más que en el contenido, aunque sin duda se presentaron allí algunas de las propuestas que definirían la historia de los próximos cuarenta años. Nos estamos refiriendo a las que emanarían del trabajo de Christopher Alexander y Gordon Pask y de Cedric Price.

El segundo punto de inflexión se sitúa en el artículo nodal de 1969 Gordon Pask, *La significación arquitectónica de la cibernética* (Pask, 1969) donde se plantean de un modo metódico y posibilista las condiciones fundacionales

Figura 2.43: Imagen de instalación de Pask en la Exposición

de un nuevo paradigma arquitectónico. Dicho artículo es coincidente, casi de manera simultánea a la publicación de *Non-plan an experiment in freedom* (Barker et al., 1969) donde Reyner Banham, Paul Barker, Peter Hall y Cedric Price colocan las bases en un manifiesto contra la planificación apoyándose en los procesos automáticos.

Ambos hitos delimitan ese nuevo deambular desde los procesos participativos acuciados por la necesidad, dado que no dominaban los instrumentos ni los campos conceptuales de dichas nuevas disciplinas. Comienza de este modo una estrecha colaboración entre arquitectos y especialistas (matemáticos, físicos, programadores) en un período en que sentará las bases para introducir la programación en el código genético de la arquitectura, ofreciendo un primer esquema de *arquitectura de sistemas* tal y como anunciaba Pask. Su participación en la Exposición del ICA consistía en una instalación de piezas en generadas sobre un movimiento de acción-reacción, que asemejaba una conversación.^{2.43}

John Frazer se ocupa a un tiempo de analizar la relevancia del modelo natural en arquitectura partiendo de nuevas incorporaciones de orden evolutivo y ambiental: un modelo natural para la arquitectura (Frazer, 1995).

También se desarrolla el lenguaje operativo emanante de los procesos naturales que han sido incorporados a procedimientos automáticos, donde “el

énfasis se ha desplazado de los objetos a los procesos, tal y como Buckminster Fuller, John Cage y Marshall McLuhan habían previsto” (Frazer, 1995).

Existe una interrupción temporal en el desarrollo conceptual de la arquitectura ligada a la computación que abarca los años ochenta; el inicio del cambio *digital* en arquitectura está motivado por la necesidad de superar el escenario pos-modernista centrado en asimilaciones estéticas. La tecnología electrónica estaba transformando radicalmente la sociedad, la economía, la cultura, la ciencia, y en general, casi todos los aspectos de la vida. Las herramientas estaban al alcance de la mano, y sólo hacía falta incorporar un buen argumento para transformar toda la disciplina.

Tal y como describe Mario Carpo en *A Digital Turn in architecture 1992-2012* es a partir de los primeros años noventa que se produce ese radical giro en la producción arquitectónica desde las técnicas digitales. Es posible hacer una revisión de esa historia reciente a través de una serie de publicaciones, otorgando un lugar especial (ganado por derecho propio) a las monografías de *Architectural Digest*, como máximo recipiente del debate y la difusión de la investigación en técnicas digitales, que ha ido marcando el desarrollo digital conceptual y formal de la disciplina.

En 1992 Peter Eisenmann lanza una argumentación figurativa fundamental a través de *Visions Unfolding: Architecture in the Age of Electronic Media*: La producción arquitectónica se une indisociablemente a la producción de nuevos modos de representación donde la imagen arquitectónica se basa en notaciones numéricas, encriptaciones que contienen procesos. (Eisenman, 1992). Esto genera documentos que pueden modificarse todo el tiempo. El nuevo paradigma de mediadores electrónicos produce la “dislocación” de la visión antropocéntrica y el abandono de la tradición de la perspectiva contestando no sólo la geometría sino el modo organizativo de las estructuras cartesianas.

Tanto Eisenmann como Bernard Tschumi (Tschumi, 1996) proceden a desarrollos formales concretos basados en ejercicios como la House X 2.44 o la Casa Guardiola plantean llevar fenómenos dinámicos a la distribución espacial, apoyándose en la indeterminación. Se desvanece el concepto de trama reguladora como mecanismo compositivo en aras de las relaciones de un campo físico y termodinámico de acontecimientos.

En los números dedicados a Architects in Cyberspace de 1995 y 1998 se publican varios de los ejemplos de descripción de la arquitectura sobre una base conceptual más alejada de la praxis, por falta de herramientas industriales capaces de llevarlas a cabo. Pero justo cuando se pensaba que el diseño más avanzado iba a quedar un territorio estrictamente conceptual o descriptivo, nuevas herramientas digitales para el diseño y la fabricación hacen su aparición (respondiendo a una clara necesidad) y anuncian que la electrónica también iba a tener un papel relevante en el modo en que el mundo es “construido”.

Figura 2.44: Diagrama según movimientos y procesos generativos. House X. Peter Eisenman (Eisenman, 1982)

Un idilio entre geometrías posibles y técnica digital marca la producción figurativa del inicio del milenio. El espacio de relaciones que ofrecía el nuevo entorno digital permite hablar de sistemas multiformes, abiertos, y reconfigurables introduciendo variables de orden fenomenológico.

En este entorno, surge un aporte conceptual esencial se introduce en dicho cultivo instrumental de la disciplina. La asimilación intelectual de *Mil mesetas* 1988 de Deleuze y Guattari, que llevó unos años de maduración, aporta argumentos tan oportunos como complejos basándose en la construcción de relaciones. La idea de **rizoma** como sistema no jerárquico, sin centro y sin comportamiento concreto inunda de posibilidades un escenario disciplinar a la búsqueda de referentes filosóficos. Su condición de conectado y mutable es fácilmente trasladable a conceptos y formalizaciones en arquitectura, de modo que es adoptado por la cultura de lo digital.

Algunas de las más relevantes contribuciones a ese respectoo, son las recogidas en *From Object to Field* de Stan Allen en sus teorías de campos. Establece el marco abstracto de desarrollo arquitectónico en un momento inundado por el espacio Deleuziano que recombina la matemática a través de las conexiones (Allen y Agrest, 2000; Allen et al., 2010).

En el epígrafe *Digital Fields*, elabora un tratamiento de lo digital desde el cifrado del código espacial en código digital. En una decisiva revisión del significado de una imagen digital explica como no existen elementos y fondo, puesto que cada punto de información de una imagen digital compone, con el mismo valor, la información completa. Si un análisis compositivo clásico parte de la relación figura contra fondo, re-elaborada como figura contra figura, el espacio digital se convierte en una relación de campo contra campo.

Por su parte, Charles Jencks, incorpora el término de la *no linealidad* para aplicarlo al desarrollo de diseños arquitectónicos (Jencks, 1997). El término no lineal está tomado de la definición matemática e funciones no lineales en las que el resultado no es proporcional al dato de entrada o donde la relación entre dos variables no puede establecerse con una línea recta. La teoría de la no linealidad o emergencia sostiene que a veces la naturaleza realiza saltos de un estado a otro en un modo repentino e imprevisible que la ciencia no puede explicarse. Esto remite a planteamientos de otorgar a la naturaleza un cierto carácter de voluntad propia que es contrario al determinismo científico moderno. Es preciso asimilar la indeterminación como un estado natural de la naturaleza.

Casi coincidiendo con la llegada del milenio se inicia el desarrollo de modelos figurativamente inéditos (gracias a la increíble evolución de las herramientas digitales de cálculo y desarrollo formal) pero también a la instalación de bases teóricas y conceptuales de trabajo sobre conceptos conquistados por la inteligencia artificial: simulación de modelos naturales, algoritmos genéticos, redes, autómatas celulares... que insertan desde lo performativo en lo arquitectónico, nuevas fuentes de generación (la figuración de esos mode-

Figura 2.45: Diagrama generativo para la Terminal de Yokohama. Foreign Office Architects

los está y estará en permanente evolución). En esta línea la sustitución del paradigma mecánico por el paradigma biológico el campo de aplicación de amplía de manera natural hacia entornos holístico de ecosistemas, regiones, hasta el registro global. Esto incorpora nociones dinámicas de crecimiento, movimiento y evolución.

Escritos esenciales son debidos a Foreign Office Architects, desde el plan-teamiento de programas transferibles digitalmente a una forma construible. (Moussavi y Polo, 2002). En el conjunto de diagramas generativos para el desarrollo constructivo de la termnal de Yokohama, se estudia la evolución sistémica de la pieza entendida por capas de programa y secciones estructurales. Es en la combinación de ambos tipos de documentos donde se entiende la complejidad del objeto arquitectónico como proceso.2.45 Tiene lugar una traslación de escala marcada por la necesidad de implementar objetos arquitectónicos reales.

El interés de estos arquitectos en incorporar conceptos de teoría de sistemas, la ciencia de la complejidad, y la teoría de sistemas auto-organizativos eran parte del legado que la cibernética había inoculado al diseño digital en los noventa. Estas, junto con teorías relacionadas sobre indeterminación, caos, a menudo se mezclaron con varias metáforas morfo-genéticas que son especialmente oportunas para entender la diferencia.

Finalmente, para culminar este breve paseo por el devenir de la arquitectura en su cruce con las prácticas de la computación, es necesario considerar el cambio de paradigma con respecto a la relación social de la arquitectura convertida en una tarea participativa.

El diseño arquitectónico, su notación, y sin duda su construcción, han sido históricamente tareas colectivas. Sin embargo aún es difícil eliminar la relación entre el diseñador y el producto, especialmente impregnante en el

aspecto de autoría, a la que se suma control y responsabilidad. Poco a poco, se va imponiendo el proceso participativo que es inherente a la misma idea de lo paramétrico (evolutivo), y de las herramientas de software de base BIM (Garber, 2014) (no en vano se generaron para facilitar el intercambio de información entre agentes y tienden a ser cada vez más orientadas a la toma de decisiones colectiva). Edificios de gran complejidad son diseñados desde herramientas vinculadas que permiten el trabajo, coordinación, y permanente evaluación de una compleja comunidad de especialistas que manejan un mismo “documento” tridimensional.

Esta irrupción de la participación masiva en el procedimiento y diseño de la arquitectura y las ciudades en las que habita el hombre pueden ser más transformador que el uso de ciertos formalismos que tienen una vigencia muy delimitada.

Orígenes de arquitectura y cibernética España

Aún a pesar del incuestionable peso del mundo anglosajón en el liderazgo de la Computación en arquitectura, es obligada una referencia a la historia de la computación en España, y la influencia que tuvo en la arquitectura que se generaba en aquel momento. Esa relación está íntimamente ligada al entorno de investigación universitaria.

A principios de los años 50, ya existe un grupo de investigación de la Universidad Complutense de Madrid en estrecha colaboración con los grupos de las Universidades de Cambridge (Reino Unido) y de Harvard (EE UU) que desarrollan proyectos en los que se estaba gestando lo que hoy conocemos como informática. Fruto de aquellas relaciones, en 1954 se concluye en la Complutense el “Analizador Diferencial Electrónico”, la primera computadora construida en España. En 1959, de la mano de profesores de la UCM, nuestro país pasa a formar parte del núcleo germinal de la “International Federation of Information Processing” (IFIP). En la década de los 60, en la Universidad Complutense se imparten los primeros cursos de posgrado en el ámbito de la informática, cursos que se proyectan internacionalmente bajo el auspicio de la UNESCO.

El Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid fue creado el 13 de enero de 1966 tras un acuerdo entre esta universidad e IBM. El equipo electrónico cedido por IBM estaba compuesto por una calculadora IBM 709014 con capacidad lectora de 250 tarjetas por minuto, una calculadora IBM 1401, una impresora capaz de imprimir 600 líneas por minuto y equipo auxiliar. Además del servicio de cálculo para los departamentos de la universidad, se crearon varios seminarios para investigar el uso de las nuevas técnicas de cálculo automático en la lingüística, la arquitectura, la enseñanza, el arte y otros. Entre 1967 y 1971 se imparten en Madrid varios seminarios en el Centro de Cálculo de la Universidad Complutense. Estos seminarios fueron dirigidos por el matemático Ernesto García y eran un punto de encuentro, no sólo de matemáticos o científicos, sino también de artistas y arquitectos.

Se trataba primer centro de estas características ubicado en una universidad española a la que se adscriben investigadores de la Politécnica de Madrid y Cataluña. Será una institución de vanguardia que impulsará la investigación, la aplicación y la enseñanza práctica de la informática más allá de la propia comunidad universitaria.

En el catálogo de la exposición *Del cálculo numérico a la creatividad abierta. El Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid (1965-1982)* se describe la relevancia del Centro de Cálculo y expone una buena muestra de ejemplos multidisciplinares que reivindica la participación de la Universidad madrileña, en la creación artística más vanguardista de la década de 1970 y su influencia en el arte contemporáneo más experimental. “Corría el año 1958 cuando llegó a nuestro país la primera computadora: una IBM 650, destinada a la Compañía Telefónica Nacional de España (CTNE). Sin embargo, habría que esperar ocho años más, hasta 1966, para que la primera máquina IBM aterrizara en una universidad española” En ese momento, una serie de pioneros, docentes, artistas, teóricos e investigadores, que contribuyeron a la puesta en marcha y el desarrollo del Centro de Cálculo de la UCM, a través de obras de artistas como Lugán, José María López Yturralde, Gerardo Rueda, Eusebio Sempere, Lely Grennham, Manuel Barbadillo, Ignacio Gómez de Liaño... y arquitectos como Javier Seguí y en especial, José Miguel de Prada Poole.

En este punto, conviene establecer cautelas con respecto a la denominación de “arte electrónico” que se utilizó en su momento junto con “arte cibernético”, hoy en día sería más correcto hablar de “arte digital”. Hay dos frentes distintos de utilización del ordenador: por un lado las primeras experimentaciones artísticas pioneras que emplean el ordenador con el objetivo de generar obras gráficas con herramientas digitales. Por otro, la utilización de la capacidad de computación para poner en marcha procesos generativos: a partir de las actividades del Centro de Cálculo se generaron muchas y muy variadas líneas de investigación; se introdujo por primera vez en España el estudio de las gramáticas generativas, lo que significó un gran avance en la formulación tanto de lenguajes naturales como artificiales y las relaciones entre ellos.

En los primeros años se desarrollan los Seminarios de Generación Automática de Formas Plásticas. En este seminario se buscaba explorar las posibilidades de la informática, y en él formaron parte programadores, arquitectos, ingenieros y artistas plásticos. La experiencia era una actividad pionera en la que participaron José Miguel de Prada-Poole, Soledad Sevilla, José María López Yturralde y otros. Se formaron varios grupos de trabajo como el de Lingüística matemática, de Composición de espacios Arquitectónicos, y Generación de formas plásticas. Prada Poole aportaría ideas muy innovadoras para el estudio de los contenidos plásticos de una obra pictórica.

El caso del *Estetómetro* de Prada Poole.

El seminario produjo vídeos, pinturas, música, animaciones tridimensionales y generación de modelos por ordenador. En Diciembre del 68 comenzó a publicarse un boletín de periodicidad variable con las novedades y actividades del seminario. Finalizado éste, las conclusiones a las que se llegan no son las esperadas, debido a la complejidad de la hipótesis formulada. Se plantea que no se busca reducir toda actividad intelectual, científica o artística a la sistematización informática, pero si desglosar estas actividades desde el punto de vista de la creación aumentando la libertad creadora, desvinculándola de la servidumbre de lo reiterativo o mecánico. En este punto, las propuestas de Prada Poole para trabajos como la *Instant city* de 1971 enlazan con las experiencias de arquitectura abierta basada en la cibernética, como herramienta, un planteamiento que era compartido por arquitectos europeos como Yona Friedman o Cedric Price.

Capítulo 3

ARQUITECTURA Y MÁQUINAS

En 1964 se celebra en el Sheraton Plaza Hotel de Cambridge, Boston, el congreso *Computers for Architectural design*. Entre los ponentes, un octogenario Walter Gropius se dirige a un numeroso público con un texto que es leído por el historiador Henry A. Millon: *Computers for Architectural Design*. Asombra a la concurrencia con un entusiasta alegato en favor de la necesidad de un uso inteligente de “las herramientas de computación como herramientas de un control mecánico superior”, que ofrecen “una libertad sin precedentes para el proceso creativo del diseño”.

Gropius observa no exento de ironía: “Algunas personas desprecian violentamente la idea de que unas máquinas sin vida puedan suponer cualquier ventaja para el pensamiento inventivo. (...) Creo que debido a esta actitud se deshecha el grano con la paja”.

A mediados de la década de 1960, para los actores de la periferia de la profesión, tales como ingenieros, urbanistas o contratistas, el uso de la computadora ya se estaba convirtiendo en una parte cotidiana integrada en el negocio. Sin embargo, para la escena disciplinar de la arquitectura, el discurso sobre computadores todavía estaba inédito, y los experimentos en computación se estaban llevando a cabo de manera aislada en enclaves universitarios y algunos estudios de arquitectura de gran envergadura como Skin, Owen and Merrill.

Tal y como se destila de la lectura de las actas del Congreso, esta era una circunstancia que los organizadores de la conferencia pretendían rectificar. Entre los invitados no sólo arquitectos y urbanistas (por ejemplo, Nicholas Negroponte, Christopher Alexander, Serge Chermayeff de Yale y François Vigier de Harvard) sino también historiadores de la arquitectura (del MIT Henry A. Millon), ingenieros informáticos, ingenieros mecánicos, ingenieros eléctricos (Marvin Minsky, entonces codirector de el MIT Laboratorio de Inteligencia Artificial y miembro del Proyecto MAC), cartógrafos

(Northwestern University Howard Fisher , fundador - a-ser del Laboratorio de Computación Gráfica en la Universidad de Harvard). En paralelo, la necesaria presencia de grandes empresas estadounidenses como IBM (George Swindle de los sistemas de programación División) y Westinghouse (Lisle G Russell , ingeniero mecánico en la Ingeniería y Desarrollo del Grupo de Sistemas) que aportan el capital de inversión y la tecnología de los equipos.

El 5 de diciembre de 1964, un nutrido número de participantes inscritos se reunieron en el Sheraton-Plaza en Boston. Además de conferencias y debates que tienen lugar en una gran sala, en un espacio contiguo del hotel se exponen una serie máquinas, dispositivos y artefactos hacen demostraciones reales de procedimientos aplicados. Entre ellos un simulador de vuelo de la división de aviación Boeing, un Kinescopio grabado en el Lincoln Laboratory, algunos desarrollos de gráficos por ordenador del MIT, y una película generada por computadora de los Laboratorios Bell, muestra lo que ya es un incipiente y prometedor marco de animación por ordenador. Uno de los momentos más impactantes tiene lugar con la demostración en vivo de lo que acontece por control remoto de un IBM 7094 del equipo del MIT, situado al otro lado del río Charles en Cambridge. La presentación del programa de ingeniería llamada STRESS (Structural Engineering Systems Solver) fue transmitida a todos los congregados por circuito cerrado de televisión.

En medio de la conmoción, conscientes de encontrarse ante un momento de inflexión, surgen dos claros sentimientos: uno de tecnófilos rendidos al computador como herramienta transformadora que ven de manera inmediata su aplicación en el proceso de diseño; el otro de tecno-intelectuales empeñados en un ejercicio de teorización crítica acerca de la computación. Para los miembros de este último grupo, como Minsky, la computación en creatividad conduciría hasta nuevos límites, de dimensión desconocida sólo a través de la Inteligencia Artificial (AI). En respuesta a los debates sobre la viabilidad de la computadora se declaró: “No nos preocupemos por (...) cómo las computadoras nos van a ayudar con las cosas pequeñas. Porque en no más de 30 años, las computadoras pueden ser tan inteligente, o más inteligentes que las personas”

Volviendo al debate intrínsecamente arquitectónico, uno de los problemas severamente detectados y expuestos en el Congreso, radicaba en la necesidad de una formalización previa de los elementos de diseño para poder introducirlos en una máquina que los procesara. Esto supone ya un primer escollo: la necesidad de describir de manera precisa y adaptada cada cuestión de diseño, era el origen de una amarga frustración: supone alimentar un sistema con una serie de decisiones ya cerradas, que acaso, limitan la capacidad creativa del diseñador . Como muestra de este descontento, Christopher Alexander rechaza el uso de los computadores desde el argumento de que no se había descrito formalmente aún ningún problema arquitectónico que pudiera ser simplemente operado y resuelto por un “ejército de empleados armados de

reglas de cálculo”.

Este es el escenario de partida del trabajo de análisis que se desarrolla a continuación.

A lo largo de las décadas de los sesenta y setenta surgirían ocasiones de colaboración entre arquitectura y ciencias de la computación, a través de tres líneas paralelas de trabajo que se analizan en esta tesis. Todas ellas comparten una misma actitud que entiende la arquitectura como instrumento de aprendizaje, aunque el desarrollo teórico y empírico de cada uno de los modelos que se estudian es marcadamente distinto. De ellos emanarían muchas de las innovaciones que anticiparon para la evolución conjunta de arquitectura e inteligencia artificial: los programas de diseño asistido por ordenador, los programas paramétricos BIM, procesos de tratamiento de imágenes y simulaciones dinámicas o el uso de la robótica en la fabricación de arquitectura, no sólo se han hecho realidad, sino que han transformado en gran medida el modo en que hacemos arquitectura cincuenta años después.

Sin embargo puede argumentarse que las cuestiones nodales básicas sobre la instrumentalidad de la computadora en el proceso creativo se encuentran en gran medida sin respuesta. Siguen vigentes preguntas sobre si es posible integrar cualidades subjetivas del arquitecto en la programación, o si puede ampliarse el dominio de la computadora como una herramienta mecánica. Y quizás la más importante, cuáles son las perspectivas de generar una arquitectura desde la inteligencia artificial sin relegar el juicio del diseñador. El objetivo de esta tesis es dar respuesta a algunas de estas preguntas.

3.1. MODELO DE CONTRASTE: una arquitectura no computacional

3.1.1. Fuller y las teorías integrales

El inicio de la parte central de esta tesis debe enmarcarse en un contexto disciplinar que, en el entorno de los años 60 ofrecía un variado y fértil panorama de arquitectos en un momento de maduración de la disciplina. Para comprender la trascendencia de los modelos de estudio que se han elegido como hilo argumental la tesis, era necesario contrastarlos con otra visión que, aunque compartiendo grados de similitud por razones ideológicas o profesionales, no compartiera el mismo enfoque hacia el espacio arquitectónico.

Robert Buckminster Fuller, opera a lo largo de la práctica totalidad del siglo XX. Por tratarse de un personaje intrínsecamente multidisciplinar aporta una nutrida cantidad de argumentos en favor del modelo integral y experimental aunque éste no fue nunca influido por la computación. Su condición de arquitecto, inventor, ingeniero y divulgador, le coloca en una posición de autor plural que ofrece innumerables conceptos de su trayectoria que nos sirvan al propósito del contraste.

“I am convinced that creativity is a priori to the integrity of the universe and that life is regenerative and conformity meaningless.”

Buckminster Fuller *I Seem to Be a Verb: Environment and Man's Future*. 1970.

Para garantizar el método de contraste con los personajes en estudio, se procede a tratar un concepto que se desarrolla en los tres casos y que esencialmente da sentido al trabajo de Fuller; se trata del concepto de *sistema*. Sus reflexiones con referencia a *código* y con referencia a *proceso*, quedan contenidas en el conjunto de dinámicas de orden integrador que inundan toda su producción. Tanto proyectos como textos críticos articulan las leyes de coherencia interna que despliegan el orden de sus diseños y construcciones.

Cualquier consideración relativa a proceso se supedita al modo en que el sistema demanda un orden interno. Cambiará en función de las circunstancias, puesto que el proceso no tiene una repercusión en el resultado. El manejo del código, fundamentado en la tecnología y la mezcla de procedimientos científicos, es personal y meta-arquitectónico, y emana de la condición de realidades enlazadas en un continuo, base de la totalidad de su trabajo.

El valor de ese mapa de conexiones que conforman su sistema vital, se evidencia en un ejemplo que se despliega en un interesante documento que trata los niveles de entrelazamiento: el Cuadro de Recursos Globales de Buckminster Fuller (Fuller, 1972; Fuller y Snyder, 2008).

El argumento principal para este ejercicio de contraste es la descripción de ese *sistema* e indagar en la razón por la que Fuller, aún a pesar de lo complejo de mundo conceptual basado en sistemas, no desarrolla ningún proyecto apoyado en procesos automatizados. Su arquitectura, generada en un plano paralelo al desarrollo de campos científicos innovadores, no es computacional.

A diferencia de su verdadera fascinación por la producción industrial en la América de los años 30 a 60 (cómo no sentirse interesado por un entorno en tan explosivo desarrollo), Fuller nunca se interesó de manera directa por la cibernética, ni la Inteligencia Artificial aún a pesar de reconocer una cierta utilidad en la capacidad de cálculo de las “nuevas” máquinas de computar.¹

Cabe preguntarse, si el acercamiento hubiera sido de orden material, en caso de haber tenido acceso a la tecnología de fabricación digital, si hubiera mostrado Fuller interés por esa dimensión posibilista de la computación. Sirva la imagen de una de las patentes para ilustrar la posibilidad de ejecutar ese modelo desde planteamientos digitales. 3.1

¹Fuller estaba preocupado por la integración general de los sistemas del planeta, lo cual en cierta medida requería una enorme cantidad de computación. No obstante, ve el uso de los computadores desde un enfoque puramente instrumental, además de limitado. Comenta John Frazer en la entrevista. Ver apéndice E

3.1. MODELO DE CONTRASTE: una arquitectura no computacional 103

Figura 3.1: Patente para la geometría de una cúpula. Buckminster Fuller 1956

Figura 3.2: Compendio general de recursos globales. Buckminster Fuller 1963

Entre 1965 y 1975 Fuller lideró una serie de investigaciones sobre Design Science, “ciencia de diseño avanzado” cuyo resultado es un compendio que llamó Inventario de recursos globales *World Resources Inventory* (Fuller et al., 1963). En la primera fase del trabajo, denominada “Inventory of World Resources Human Trends and Needs” escribe sobre la capacidad del ser humano de diseñar su futuro:

“ There are approximately no warnings being given society regarding the great changes ahead. There is only the ominous general apprehension that man may be about to annihilate himself. To the few who are disciplined to deal with the invisibly integrating trends it is increasingly readable in the trends that man is about to become almost 100 percent successful as an occupant of the universe” (Fuller et al., 1963)

3.2 En la década de los 60 Fuller, inmerso en una feroz vida académica, sostenía la necesidad de que todas las escuelas de arquitectura operaran vinculadas en una red. Si el objeto pedagógico era la tecnología, era pertinente establecer un modelo integral de industrialización; “un organismo como un circuito cerrado, una inteligencia neuronal que se autocorriga”. Era por tanto necesario incorporar la lógica de sistemas integrados en vez de recurrir a un caduco sistema de especialización.

Claramente Fuller gozaba de una condición única de poder deambular entre disciplinas. Podía considerarse a sí mismo (tal y como declara en *Cybernetics*) un agente doble orbitando entre saberes científicos. Pueden encontrarse, no obstante, ejemplos de trabajo colaborativo directo con varios científicos, por razón de incorporar subsistemas de comunicación y energía.

Nos encontramos ante un personaje que desarrolla toda su trayectoria, a lo largo de 60 años gobernado por una condición *augmentativa* del concepto de sistemas: desde las patentes más contenidas hasta sus modelos 4D para un proyecto de conectividad de ámbito global, todo su trabajo tiene vocación de trascender los límites de su propio enunciado. Proyectos en permanente estado de ampliación.

Uno de los ejemplos de compendio de estrategias, que marca el punto de inicio de todo un tratado sobre sistemas, es el texto de 1972 *Operating Manual for Spaceship Earth* (Fuller, 1972; Fuller y Snyder, 2008)

En él desarrolla un argumento científico hacia la integración y supervivencia de la especie humana en el planeta. Aunque como ya se ha indicado, Fuller no trabajó directamente con aspectos de la computación, en este texto incorpora nociones fundamentales de la cibernética, desde una apología del equilibrio de la información en un sistema, como base para su supervivencia. El hecho de dedicar gran parte del texto a la noción de re-alimentación indica el alcance de dicha influencia.

Varios años más tarde, en otro de sus textos con voluntad de desfigurar los límites entre disciplinas, *Synergetics*, plantea el estudio empírico de sistemas *en transformación*. Pone especial énfasis en el estudio del comportamiento global de un sistema frente al estudio de sus componentes de manera aislada (Fuller y Applewhite, 1982). Atribuiría al ser humano el papel de enlace, y de procurador de recursos dotándole de responsabilidad para el conjunto del planeta. Dado que los sistemas mantienen su identidad a todas las escalas, desde la cuántica a la cósmica, la humanidad es quien articula el comportamiento de dichos sistemas, siendo al tiempo parte de los mismos. El esquema adjunto muestra un ejemplo claro de este *isomorfismo*. Se trata de un sistema que Fuller plantea en 1948 para el cálculo de la razón de crecimiento de la geometría de una cúpula en función del aumento de escala.^{3.3} aunque el estudio es para un intervalo finito, las proporciones

Otra muestra del modelo sistémico de Fuller se expresa en su *Synergetics*. Se concibe como una disciplina muy amplia que abarca una gran gama de estudios científicos y filosóficos, en definitiva de delimitación del sistema-hombre, que incluye desde la geometría regular de los sólidos platónicos a la termodinámica, la química, la psicología, bioquímica, economía y la filosofía.

Synergetics is the empirical study of systems in transformation, with an emphasis on total system behavior unpredicted by the behavior of any isolated components, including humanity's role as both participant and observer.

Thought is systemic. Human thoughts are always conceptually and definitively confined to system considerability and comprehension. Unit means system integrity. Organic means regenerative system integrity. General systems theory treats with phenomena that are holistically comprehensible. Synergetics

Sin abandonar ese registro, Fuller propondría un proyecto para cubrir la superficie del globo con torres repartidas por Zeppelines hasta localizaciones remotas. El plan era una propuesta para un sistema de transporte omnidireccional que permitiría a los residentes llegar a sus casas por medios aéreos. En una versión del proyecto titulada **4D** (el tiempo se incorpora como parámetro de diseño) Fuller llega a describir las torres de diez alturas como terminales de mantenimiento; como si se tratara de estaciones de repostaje de aeronaves en ese mundo programado para conectarse globalmente por transporte aéreo. En el dibujo anexo, de especial significación en la obra de Fuller, se describe el procedimiento de montaje de las torres, que se desplazan y se izan como entidades completas para arriostrarse después mediante cables al terreno. Estas arquitecturas operan como balizas que demuestran la validez de una nueva condición humana descentralizada.^{3.4}

Ese acercamiento a un conocimiento cartográfico fiel del territorio donde ha de moverse el arquitecto, motiva la generación de documentos inéditos

Figura 3.4: Robert Buckminster Fuller. Representación 4D (1927)

para su reconocimiento. Fuller desarrolla a partir de 1927 su versión inicial de la representación terrestre que denomina Dymaxion Map. Una primera conceptualización global y verdaderamente ecológica del medio humano en su entorno más completo (Fuller, [200-?]; LIFE, 1943). Desde el planteamiento *Think global, act local* (pensar de modo global, actuar de modo local) plantea una formulación integradora donde predominan las pequeñas intervenciones con capacidad de modificar un entorno universal. 3.5

El modelo es una representación plana del orbe terrestre desarrollado en la superficie de un icosaedro. El resultado describe en una superficie continua, la superficie completa del planeta revelando las líneas de flujos predominantes y las distancias aéreas más cortas entre masas de tierra. Fuller anticipa así que el transporte del planeta cambiaría del mar al aire.

El Dymaxion Map aún a sistema y proceso, y aunque claramente las vinculaciones de un red única subyacen, no se hacen explícitas y Fuller no recurre el empleo de procedimientos computables.

Como modelo terrestre tiene claras ventajas frente a otros modos de representación terrestre: Es el único modelo que describe en términos topológicos nuestro planeta como realmente es: gran masa continental en un océano, sin apenas distorsión de las formas y tamaños de las áreas de tierra y sin interrupción de ninguno de los continentes. Además tiene las siguientes características:

- Las proporciones de todos los segmentos del globo se proyectan en

Figura 3.5: Robert Buckminster Fuller. Representación del dymaxion map (1946)

verdadera magnitud

- El Dymaxion map no tiene orientación. Fuller siempre argumentó que en su universo no había arriba ni abajo, tan solo dentro o fuera. Era una cuestión de equilibrio entre fuerzas gravitatorias, dentro significaba hacia la fuerza de atracción y fuera significa lejos de la acción gravitatoria.
- Rompe con la proyección tradicional (gráficamente acentuada por el sistema de referencia de meridianos y paralelos) que corresponde con una visión cultural del orbe terrestre. Frente a la división económica y política del norte y el sur que refiere a los hemisferios, Fuller plantea una superficie irregular.
- No hay un modo concreto de mirar el mapa. Si se desarrollan los elementos triangulares caras del icosaedro en una malla icosaédrica de abriendo por aristas donde hay océano, se muestra un continuum continental rodeado de agua; pero si el desarrollo se hace cortando por aristas donde hay tierra firme, la percepción será de un gran mar interior rodeado de tierra.

La trascendencia real del modelo reside en que permite a los observadores estudiar la interrelación de las distintas fases materiales de la tierra

integrándolos con los flujos de energía en beneficio de toda la comunidad. Si combinamos los hallazgos del Dymaxion con la ingente capacidad de procesamiento de las computadoras actuales conseguiríamos un modelo del planeta que trasciende lo geográfico y que despliega un inventario de las reservas, flujos y condiciones de manera tridimensional.

Fuller es operativo en el modo de Diseñar desde planteamientos completos, puesto que despliega una labor de centinela sobre los aspectos tecnológicos sobre los que es preciso intervenir simultáneamente: física, termodinámica, producción industrial, cibernética, educación, equilibrio social y biológico. Ejemplo de sus propuestas de modelos de comunidades descritos en “*Critical Path*” razonablemente pertenecen a este texto donde las hipótesis se tensan hasta supuestos extraordinarios. Son *Triton* (floating) City y modelo de ciudad circular *Old man’s River city*. Cada una de ellas emerge de un parámetro funcional definido como es la flotabilidad, o la contención de las aguas, y de un parámetro relacionado con la escala.

3.1.2. Una teoría general de sistemas desde Fuller

Con el propósito de compararlos con la Teoría General de Sistemas de Fuller, en este punto se procede a revisar los conceptos básicos de la teoría general de sistemas de Bertalanffy. La construcción argumental de Fuller, recogida en su “Manual de instrucciones para una nave llamada Tierra” (Fuller y Snyder, 2008) retoma esos mismos conceptos y los aplica a un espacio genérico de alojamiento del ser humano.

Como se anticipa en el capítulo segundo, el propio Ludwig von Bertalanffy, había detectado la necesidad compartida por muchas de las ciencias fundamentales, de describir con una formulación sencilla las leyes generativas de modelos complejos. En esos años, y en especial en el marco de disciplinas cuyo objeto de estudio son los sistemas dinámicos, se habían descrito coincidencias de enunciación: biología, computación, economía, requieren respuestas integrales puesto que su objeto de estudio son elementos interactuando en permanente transformación.

La tecnología piensa no ya en términos de máquinas sueltas sino de “sistemas”. Incluso si el objeto de la misma es un pequeño componente, se diseña en función de su inserción en un sistema más complejo. Hasta hace 50 años, una máquina de vapor, un automóvil o un receptor de radio caían dentro de la competencia del ingeniero adiestrado en la respectiva especialidad. Pero cuando se trata de proyectiles, centrales energéticas, o edificios completos, el procedimiento cambia. Es necesario diseñarlos y construirlos usando procesos que proceden de tecnologías heterogéneas: mecánica, electrónica, computación, termodinámica, química, etc.; empiezan a intervenir relaciones entre hombre y materia, y surgen innumerables cuestiones financieras, económicos, sociales y políticas. Por ejemplo, una cuestión como el “diseño” del tráfico aéreo, no es sólo cosa del número de naves/vehículos en funcionamiento sino

Figura 3.6: Robert Buckminster Fuller. Operating Manual for Spaceship Earth (1969)

Figura 3.7: Robert Buckminster Fuller. Underlying Order in Randomness (1969)

que son sistemas que hay que planear, negociar, vincular con muchos factores y diseñar sus nodos y sus terminales.

Fuller planteaba que estas consideraciones conducían a proponer una nueva disciplina científica, llamada Teoría General de los Sistemas. Su objetivo principal era investigar el isomorfismo de conceptos, leyes y modelos y fomentar provechosas transferencias de un campo a otro.

En el capítulo *Teoría General de Sistemas* declara: *No sólo se parecen aspectos y puntos de vista generales en diferentes ciencias; con frecuencia hallamos leyes formalmente idénticas o isomorfas en diferentes campos. En muchos casos, esas propiedades valen para determinadas clases o subclases de "sistemas", sin importar la naturaleza de las entidades envueltas. Parece que existen leyes generales de sistemas aplicables a cualquier sistema de determinado tipo, sin importar las propiedades particulares. De este modo, se convierte en una ciencia general de la "totalidad" que ordena la organización dinámica.*

Puede decirse que tanto Fuller como Bertalanffy coinciden en esa orientación: más que unos axiomas, enuncian marcadores que indican cuánto de entrelazado es un sistema, como la virtud principal de una serie de elementos en organización.

En ambos autores, se describen varias áreas que comparten la condición de *proceso*, haciendo una importante división entre sistemas abiertos y sistemas cerrados, desde la perspectiva de la relación de los mismos con el entorno.

Como en cualquier sistema arquitectónico, todo organismo viviente es ante todo un sistema abierto. Se mantiene en continua incorporación y eli-

minación de materia, constituyendo y demoliendo componentes, sin alcanzar, mientras la vida dure, un estado de equilibrio químico y termodinámico, sino manteniéndose en un estado llamado uniforme que difiere de aquél. Ese es el principio de funcionamiento de ese fenómeno fundamental de la vida llamado metabolismo, los procesos químicos dentro de las células vivas.

No ha sido sino hasta años recientes cuando hemos presenciado una expansión de la física, en su faceta de entropía, o grado de desorden de un sistema, orientada a la inclusión de sistemas abiertos. Con todo, tales aspectos existen, y no puede concebirse un organismo vivo -no se diga el comportamiento y la sociedad humanos- sin tener en cuenta lo que, vagamente se llama adaptabilidad.

En el diagrama sobre el orden en el caos, Fuller remite a los estados de equilibrio como tendencia espontánea. Se puede identificar una tendencia a la ordenación basada en principios de simetría y proporción. Este argumento geométrico sirve para definir el concepto de series matemáticas que formula como algoritmos clásicos de ordenación. Un indicio de conceptos de computación articulados, si acaso, de manera analógica. 3.7

Esta teoría General de Sistemas común en Fuller y Bertalanffy ha contribuido a aclarar muchos fenómenos inciertos en física y biología, que son de directa aplicación a la arquitectura como sistema abierto y de los que se identifican propiedades generales, esencialmente centrados en tres conceptos.

1. La primera es el **principio de equifinalidad**, o tendencia a un estado final característico a partir de diferentes estados iniciales o por diferentes caminos, fundamentada en la interacción dinámica en un sistema abierto que alcanza un estado uniforme. En el extremo contrario, cualquier sistema cerrado, el estado final está inequívocamente determinado por las condiciones iniciales: p. ej., el movimiento en un sistema planetario, donde las posiciones de los planetas en un tiempo T están inequívocamente determinadas por sus posiciones en un tiempo t_0 . 0, en un equilibrio químico, las concentraciones finales de los compuestos reaccionantes depende naturalmente de las concentraciones iniciales. Si se alteran las condiciones iniciales o el proceso el estado final cambiará también. No ocurre lo mismo en los sistemas abiertos. En ellos puede alcanzarse el mismo estado final partiendo de diferentes condiciones iniciales y por diferentes caminos. La equifinalidad tiene especial significación para los fenómenos de la regulación biológica.

2. La segunda hace referencia a la **entropía**: de acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, la tendencia general de los acontecimientos en la naturaleza física apunta a estados de máximo desorden y a la igualación de diferencias. En contraste, el mundo vivo exhibe, en el desarrollo embrionario y en la evolución, una transición hacia un orden superior, heterogéneo y organizado. Pero, sobre la base de la teoría de los sistemas abiertos, la aparente contradicción entre entropía y evolución desaparece. En todos los procesos irreversibles la entropía debe aumentar. En un organismo vivo, que

importa complejas moléculas ricas en energía libre. Así, los sistemas vivos, manteniéndose en estado uniforme, logran evitar el aumento de entropía y hasta pueden desarrollarse hacia estados de orden y organización crecientes.

En este respecto, Fuller basa todo el corpus temático de la “nave Tierra” en un sistema autosuficiente, aunque abierto al universo, donde se pueden dar los mismos fenómenos de manera homotética. Habla del uso de recursos que se transforman y del uso de la energía. 3.6

3. El tercero de los conceptos centrales de la teoría de la comunicación y el control es el de la **retroalimentación**, el mantenimiento homeostático de un estado característico o la búsqueda de una meta, basada en cadenas causales circulares y en mecanismos que devuelven información acerca de desviaciones con respecto al estado por mantener o la meta por alcanzar.

Hay gran número de fenómenos biológicos que corresponden al modelo de retroalimentación. Está, primero, lo que se llama homeostasis, o mantenimiento del equilibrio en el organismo vivo, cuyo prototipo es la termorregulación en los animales de sangre caliente. Existen en el cuerpo mecanismos homeostáticos análogos que preservan la constancia de gran número de variables fisico-químicas. Gran variedad de sistemas tecnológicos y de la naturaleza viviente siguen, pues, el esquema de retroalimentación, y como ya describimos en el epígrafe de antecedentes de la Computación ?? referente a los modelos científicos, se menciona cómo Norbert Wiener ideó la cibernética, para tratar estos fenómenos.

4. Finalmente, la última de las consideraciones análogas entre las teorías de Fuller y Bertalanffy son aplicables al concepto de **organización**. Organización como orden interno subyacente.

“Un átomo, un cristal, una molécula, son organizaciones”, como Whitehead no se cansaba de subrayar.

Una concepción unitaria del mundo puede basarse en mejorar el isomorfismo de las leyes en diferentes campos. En los proyectos de Fuller, no obstante, no hay espacio para la incertidumbre. Aún a pesar de incorporar los atributos ampliamente descritos en su teoría general, no establece nunca una traslación literal a sus propuestas arquitectónicas o industriales. Su tendencia a cerrar soluciones operativas y garantizarlas a través de patentes, puede netenderse como una voluntad de generar su propio sistema abierto compuesto de entidades cerradas. El orden que otorga una organización en permanene búsqueda del equilibrio aporta argumentos en proyectos globales. Pero la necesidad de perfección significa uniformidades estructurales en los esquemas de traslación de los principios de un sistema abierto a una construcción arquitectónica.

Fuller realiza una construcción formal de la arquitectura, sobre las bases ya mencionadas: Isomorfismo en las estructuras de mínima tensión y máxima dimensión y homeostatismo en el sistema de la Tierra de manera global. Estos se aplicarán en algunos de sus proyectos globales como 4D, el del río Hudson

y el Triton Floating city.

Para terminar este epígrafe que trata el concepto de un modelo de contraste desde patrones no computacionales, debemos referirnos al concepto de proceso en Fuller. Tal y como nos describe Price en *Cedric Price, the Square Book* cite Price2003, "Fuller no concebía el diseño como una cuestión abierta. Para un modelo sistemático de trabajo resultaba impensable iniciar varios caminos en paralelo, puesto que los diseños están inmersos en una secuencia de desarrollo lineal, más proxima a la fórmula de trabajo de patentes". Aunque fuera posible que Price entendiera el diseño en clave de especialización como una consecuencia lógica de un procedimiento recursivo en sí mismo. Así lo manifiesta synergetics

Fuller no entiende los procesos como un proceso participativo. En su texto sobre la educación como aunque había estado inmerso en el Black Mountain College, su concepto de participativo tenía más que ver con lo jerárquico.

3.2. MÁQUINAS QUE GENERAN EDIFICIOS

Como se ha descrito en la introducción de este trabajo, en los años sesenta se incorporan al espacio de investigación científica un grupo de arquitectos que trasladan sólidamente ciertos principios al campo de la arquitectura. Aun a pesar de que los medios de computación artificial no estaban suficientemente evolucionados y la traslación fuera incipiente, sentaron las bases teóricas que marcarían el deambular conjunto de arquitectura y computación a lo largo de las décadas siguientes.

El estado inicial de los arquitectos en análisis es común. Reaccionaban ante la oportunidad única de cambio, inmersos en un imparable proceso de transformación tecnológica y social; resultaba imposible no estar influido por lo que en tecnología estaba aconteciendo. Contaminados por un nuevo sentimiento de "modernidad" varios son los autores que pretenden con su trabajo transformar cuestiones fundacionales de la Arquitectura amparados en avances tecnológicos. El argumento para ampliar los límites disciplinares llegaba en forma de desarrollo de una rama matemática, disciplina científica incontestable desde parámetros canónicos historicistas.

La primera aclaración o cuerpo de discusión importante se cifra en qué aspecto de la computación se toma como argumento transformador del proceso de diseño y construcción de la arquitectura. Es importante distinguir entre un modo de diseñar que recurre a procesos automatizados, una arquitectura que toma procedimientos de aprendizaje de la inteligencia artificial, o una arquitectura que anhela incorporar modos abiertos de diseño basados en las operaciones de soluciones múltiples.

Dos son los factores primordiales que condicionan esos primeros años:

Por un lado, el incipiente estado de desarrollo de una nueva disciplina como la cibernética, que se encuentra en una fase de delimitación de su pro-

pio campo de conocimiento, integración de las áreas de la matemática de las que emana, y la evolución desde procesos mecánicos hacia campos digitales. La arquitectura generada desde procesos se asocia en sus orígenes con la cibernética, término que resulta en la actualidad un tanto caduco puesto que trabaja con procedimientos analógicos previos al desarrollo de modelos digitales de programación. Por otro lado el también inicial sustrato de campo de trabajo compartido: dado que no existen precedentes, se trabaja innovando en modelos computacionales, donde es necesario describir ex novo qué significa una arquitectura programable. Para ello, la arquitectura debe reconsiderar tres atributos esenciales: la noción de sistema, los criterios intrínsecos de codificación de información y el modo de ordenar procesos de diseño.

Desde ese análisis estudiaremos las contribuciones de tres autores:

Christopher Alexander, Nicholas Negroponte y Cedric Price, trabajaron ya entonces en distintos equipos plurales desafiando la idea de autor, desde una utilización innovadora de las leyes de la computación y la inteligencia de las máquinas en su trabajo. Todos ellos trabajaron sobre sistemas que generaban soluciones arquitectónicas en una simbiosis inédita entre hombre y máquina.

Aunque los tres autores mencionados no colaboraron directamente entre ellos, basaron sus nociones en figuras coincidentes, incluidos W. Ross Ashby, Gordon Pask, Marvin Minsky, Douglas Engelbart y JCR Licklider.

Su acercamiento es muy distinto, cercano a las leyes clásicas de la computación o al incipiente campo de la cibernética y la programación automática. Cada uno de ellos se aproxima a la tecnología de manera distinta. Alexander, formado como matemático y arquitecto al mismo tiempo, acomete un acercamiento estrictamente algorítmico, buscando en sus modelos la capacidad de procesar datos y de resolución de problemas abstractos para luego incorporarlo a su trabajo de 1977 *A pattern Language* (Alexander et al., 1977). Negroponte, sin embargo, lleva la relación entre el hombre y la máquina al ámbito de fabricar “máquinas de hacer arquitectura” que desarrollaba un interfaz operativo entre el diseño humano y la encriptación digital, hasta el punto de montar un verdadero aparataje de generación de arquitecturas (Negroponte, 1973). En un registro muy distinto, Cedric Price se acerca a la computación desde la necesidad de resolver soluciones abiertas que apoyaran su interés en la “indeterminación” (Mathews, 2006) y la convicción en que la arquitectura se debe generar en un entorno de aprendizaje. Desarrolla una teoría de la conversación junto con Gordon Pask como arboladura teórica desde la que establecer un nuevo sistema arquitectónico y con John Frazer en el desarrollo de programas de generación automática de espacios.

Todos ellos desarrollan en su trabajo su propio modelo de sistema, su interpretación de los códigos disciplinares, y exponen, cada uno de una manera específica, los procesos que los hacen posibles.

Tal y como se demuestra en la discusión posterior a este capítulo, tanto Alexander como Negroponte y Price inician desarrollos conceptuales y prácticos de decisiva importancia en los años posteriores. No sólo se cifra en la relevancia para la arquitectura sino también para otras disciplinas a las que trasladan sus hallazgos. Cada uno de estos autores plantea, si bien matizado su particular entorno de trabajo, un acercamiento sobre una línea común que en esta tesis se denominan “máquinas de hacer arquitectura” .

Sus proyectos a nivel de propuesta, donde implementan dichos planteamientos teóricos, alcanzan un notorio grado de relevancia en el debate arquitectónico del momento, aunque fueron escasos los ejemplos de proyectos plasmados en obra arquitectónica construida. Sin embargo, transcurridas cuatro décadas y un avance radical de los códigos, lenguajes y herramientas digitales, muchos de los aspectos generativos de sus propuestas, se han visto recuperados a través de laboratorios multidisciplinares que sí han podido desarrollar aquellas visiones. Es ahora, cuando se hace evidente la relevancia de esos personajes sentando las bases de radical mutación incorporando procedimientos de inteligencia artificial. En los tímidos inicios de una era destinada a transformar profundamente el modo en que los arquitectos trabajamos, supieron ver la oportunidad de cambio no sólo de los procesos y del lenguaje figurativo y tecnológico, sino del marco social global de la arquitectura. El avance tecnológico se cifra en dos aspectos: por un lado el aumento exponencial de la capacidad de procesamiento lo cual permite un altísimo dominio geométrico con definiciones matemáticas precisas. Por otro lado esas capacidades se incrementan por el establecimiento de vínculos entre programas que se anidan unos en otros, aportando ingentes masas de información al diseño desde todos los puntos de vista: geométricos, formales, materiales, estructurales, termodinámicos, y también inserciones económicas, culturales, sociales y políticas.

Esto establece una salida de información directa al proceso constructivo, como veremos en la parte final de la discusión de esta tesis. El eterno anhelo de la visión holística del proceso arquitectónico se atisba más alcanzable que nunca.

3.2.1. CHRISTOPHER ALEXANDER. Lenguaje de patrones

El trabajo de Christopher Alexander es un intercambio incesante de conceptos y procedimientos entre arquitectura y matemática. Las contribuciones cruzadas entre ambos campos, se plasman a lo largo de su carrera en un proceso de ida y vuelta; La computación, en el caso de Alexander basada en la matemática, aporta una estructura definida para generar diseño arquitectónico de un modo sistémico; a cambio, el sistema de patrones arquitectónicos ha aportado a la rama de Ingeniería del software un procedimiento relevante para el Diseño orientado a objetos.

Dado que la formación universitaria de Alexander enlaza estudios simultáneos de matemáticas y arquitectura, resulta natural su inclinación a trabajar desde planteamientos multidisciplinares. El hecho de que sus comienzos se inscriban en el entorno de Trinity College de Cambridge, marca además una indudable influencia desde dos lenguajes formales *clásicos*, el matemático y el arquitectónico que convergen en un dominio absoluto de la geometría.

A través de sus estudios de matemática incorpora un pensamiento basado en la geometría euclidiana y el álgebra de conjuntos estudiando las relaciones formales entre estructuras de objetos. Aunque sus orígenes conceptuales son marcadamente cartesianos, donde se postula la resolución de problemas por el análisis aislado de sus partes y la síntesis posterior en una solución, más adelante desarrollaría el método contrario sobre un procedimiento holístico de relaciones; esto tendrá una esencial relevancia en su trabajo general, regido por el interés en generar patrones semánticos.

Entre 1954 y 1958, período en el que Alexander cursa sus estudios, en el entorno de Trinity College el corpus académico se orienta a la consecución de lo que denominada “*Mathematical Tripos*”, un método discursivo de excelencia consistente en demostrar hipótesis matemáticas abstractas en una exposición oral, desplegando grandes dotes dialécticas. Se trataba del procedimiento más riguroso en todo el entorno de facultades de la Universidad de Cambridge, al que se accedían no sólo desde la matemática pura sino también desde otras materias de conocimiento. Incluso cuando otros modos de evaluación fueron desarrollándose en las distintas áreas de conocimiento, muchos alumnos continuaron midiéndose en el proceso de examen del tripos como Bertrand Russell o John Maynard Keynes o que orientarían sus carreras hacia la economía o la Filosofía. De nuevo, esa formación en la demostración formal de una hipótesis tendrá una notable influencia en el modo de argumentar sus trabajos teóricos.

En Trinity College, Alexander conoce de las investigaciones de Charles Babbage (cite of the Analytical Engine), y entra en contacto con el trabajo de Hardy y Ramanujan por un lado y de Russell y Whitehead por otro, lo cual contribuye a la apreciación de un campo relacional entre procesos. Un precursor directo, aunque de una influencia no directamente trazable es, tan solo 10 años antes, Alan Turing.

Cuando Alexander se gradúa de Trinity College en matemáticas, es ya un personaje que declara su necesidad de ordenar la belleza de la geometría en un espacio tangible, desde la obsesión por “construir” el citado orden. Es entonces cuando se incorpora a los estudios de arquitectura en un entorno académico muy tradicional, que ensalza los valores de la belleza inspirada en los cánones clásicos y los modelos medievales, deudores de un espacio simbólico.

Es relevante analizar la línea académica y los textos que conformaban

el corpus de referencias disciplinares del momento. En los años cincuenta, las claves del estudio de la arquitectura en Inglaterra se basaban fundamentalmente en el análisis compositivo. Aunque tradicionalmente vinculado al mundo de las artes aplicadas, se encontraba en exceso desvinculado de las técnicas constructivas, consideradas externas a la formación de un arquitecto, y para las que había otro riguroso sistema de estudios reglados.

Una rápida revisión de los textos académicos del momento, encontramos continuas referencias a las *lectures on architecture* de Violet Le Duc, y *The Logic of Architecture*, de Robert Atkinson junto con el texto de John Belcher *Essentials in Architecture*. Todos ellos recogen la tradición tratadista centrándose en el esfuerzo compositivo desde la base de la proporción estética, destinado a la formación de los estudiantes de la época, que era extensivo a todas las escuelas de arquitectura del país.

The architecture principles of Architectural composition de Howard Robertson nos ofrece una muestra representativa de los textos de referencia oficial: el modo en que se estructura una jerarquía del texto ordenado en conceptos esenciales y secundarios relacionados con la escala y el detalle, puede dar claves de cómo Christopher Alexander ordenaría sus textos-sistema más adelante. En sus recomendaciones finales dirigidas a los estudiantes del programa de arquitectura, establece un orden escalar de proporciones que sigue una rígida jerarquía .

Alexander no llega a terminar sus estudios de arquitectura en Inglaterra y se traslada a la Universidad de Harvard, en la esperanza de poder desarrollar allí un procedimiento de diseño cifrado en colecciones de instrucciones que integrara desde las grandes estrategias hasta los procedimientos de puesta en obra de principios integradores de diseño.

Tal y como se anota en el marco introductorio de este capítulo, las citadas investigaciones guardan cierta relación con una etapa en la que entra en contacto con un entorno de trabajo multidisciplinar del MIT. Trabajaría allí en el Civil Engineering Systems Laboratory en áreas de teoría de transporte y de ciencias de computación, desarrollando varias versiones de un programa HIDECS: A computer program for the Hierarchical Decomposition of a Set (incluyendo medios de desarrollo gráfico de nueva invención).

Esta investigación le permite enlazar la redacción de su tesis doctoral en la escuela de diseño arquitectónico de Harvard, enlazando su trabajo arquitectónico con ciencias y estudios cognitivos.

Alexander aplica entonces a la arquitectura conceptos de una cibernética incipiente en el intento de encarar la creciente complejidad de los problemas de diseño. La dificultad surge cuando se trata de diseñar elementos de una cierta escala que tienen conexiones múltiples, como por ejemplo un fragmento de ciudad: deben tenerse en consideración condiciones ambientales, sociales, de movilidad o de contaminación. Alexander, intenta estructurar una metodología que tenga en cuenta todos esos factores, en una suerte combinatoria,

ampliando infinitamente el número de variables que inciden en el diseño.

La producción teórica se inicia así en Alexander con una aproximación desde un planteamiento algorítmico ² de diseñar arquitectura, y de generar un lenguaje completo que permitiera dar respuestas integrales en escalas simultáneas.

3.2.1.1. Ensayo sobre la Síntesis de la Forma

La publicación de su trabajo doctoral, inicia una línea general de investigación claramente enraizado en la idea de que tanto el objeto como el procedimiento de diseño son un sistema que se ordena a través de instrucciones. Así lo recoge en el citado ensayo *Notes on the synthesis of Form* en 1964 (Alexander, 1964). Las claves para el diseño, están en la capacidad del diseñador de establecer un procedimiento reglado como mecanismo casi automático capaz de resolver casi cualquier “problema de diseño”. Dicho proceso, requería una computadora para analizar grupos complejos de datos y definir *misfits*³ que posteriormente el arquitecto procesaba en una forma. Dicho texto incorporaba un modelo lógico cuantitativo de arquitectura computacional influenciada por los textos de Ashby *Design for a Brain* (Ashby, 1952), Minsky *Steps towards Artificial Intelligence* (Minsky, 1961) y el clásico *On Growth and Form* de D’Arcy Thompson (?).

Ya antes se había referido Alexander a estas cuestiones en su conferencia “A much asked Question about Computers and Design en 1964 y publicada en *Architecture and the Computer*, Boston Architectural Centre. En él hace una reflexión sobre la necesidad de combinar herramientas versátiles (computadoras) con la imaginación del arquitecto.

“Estas notas (...) versan sobre el proceso de diseño: el proceso de inventar cosas que muestran nuevo orden físico, organización, forma, en respuesta a una función” Así comienza el planteamiento de una nueva y completa teoría del proceso de diseño.

La primera consideración es el cambio en el código y en el modo de denominar los procesos clásicos de diseño arquitectónico: sustituye “cuestión” a diseñar por “problema”. Este problema puede ser formulado en claves matemáticas y resuelto del mismo modo.

Alexander plantea la necesidad de trabajar con familias de soluciones sobre la base de evitar cualquier pensamiento lineal o jerarquizado. En este trabajo establece estructuras formales de objetos basadas en su dominio de la teoría de conjuntos, cambiando tanto el código como el proceso de trabajo.

En la primera parte del libro, se sientan las bases conceptuales del procedimiento; Alexander argumenta que *proceso* es aquel según el cual una

² Algoritmo como conjunto de instrucciones en secuencia cuyo objetivo es resolver un problema de diseño

³ Alexander utiliza el término *misfit* indistintamente para limitaciones y para requerimientos de diseño, que son el punto de partida de cualquier proceso de diseño

forma se adapta a las condiciones y necesidades humanas que las propician.

Demuestra que un proceso adaptativo sólo puede tener éxito si es generado desde lo múltiple, gradual y fragmentario en vez de originarse todo de una vez. Es por esta razón que son tan bellas, equilibradas y organizadas las formas tradicionales que surgen conformadas no por una decisión de un diseñador único sino por el patrón de cambios dentro de una larga secuencia en el tiempo. Cuando un diseñador interviene en la creación de una forma, debe encontrar la solución óptima (*goodness of fit*) para adaptarse a un contexto. De este modo, anticipa Alexander cuestiones evolutivas inéditas en su trabajo previo.

En la segunda parte del texto, Alexander presenta un método según el cual el diseñador puede incorporar toda su capacidad creativa en el ejercicio de identificar las *variables M* (*misfit variables*) como el “objeto” base con el que trabajar. Muestra que en el momento en que un problema es formulado es posible ignorar conceptos preexistentes y crear conceptos nuevos desde la propia estructura del problema que corresponden a lo que denomina subsistemas del proceso adaptativo.

Considerando a cada subsistema como un subproblema separado, el diseñador puede trasladar conceptos a formas incorporando su inventiva. Ese es el verdadero espacio para la creatividad. La forma resultante, dado que emana del proceso, estará bien adaptada a su contexto, será correcta y no arbitraria.⁴

Alexander centra la redacción del trabajo en un capítulo denominado “programa” donde enuncia desde la matemática formal el procedimiento para resolver un problema mediante selección siguiendo dos procedimientos:

debe ser posible generar simbólicamente un amplio rango de soluciones posibles debe ser posible expresar los criterios de elección de cada solución en los mismos términos simbólicos

Este planteamiento es nodal porque proclama que el diseño es un recorrido de soluciones en paralelo que rompen la linealidad del proceso creativo. Como consecuencia delimita el contorno de todo su trabajo futuro en el empeño enciclopédico de generar un inventario de soluciones y sus leyes de aplicación.

Define la relación simbólica en términos de relaciones de pertenencia a conjuntos. El análisis y la síntesis de los atributos de las variables se desarrollan en forma de diagrama. Es decir, Alexander contempla la traslación del símbolo al diagrama.

En el citado capítulo, el autor describe varios ejemplos relevantes que

⁴Investigaciones de Christopher Alexander y Marvin Manheim HIDECS2: A computer program for the Hierarchical Decomposition of a Set with an Associated Graph, M.I.T. Civil Engineering Systems Laboratory Publication no.160 1962 y HIDECS3: Four Computer Programs for the Hierarchical Decomposition of Systems Which Have an Associated Linear Graph, M.I.T. Civil Engineering Systems Laboratory Research Report R63-27 , 1963

trazan lo que utilizará como procedimiento más adelante *La Ville Radieuse* de Le Corbusier es un diagrama que expresa las consecuencias físicas de dos requisitos o condiciones básicas: la necesidad de alojar a las personas en un lugar de alta densidad y que además todos deben gozar de una proporción máxima y equivalente de ventilación y luz natural (...) la distribución de gente en una playa es un diagrama, la uniformidad de la textura muestra que hay fuerzas que distribuyen grupos familiares lo más alejados unos de otros, y por tanto equidistantes, en vez de organizados irregularmente

Estos diagramas son la notación del problema, no la forma de la solución, y los denomina diagramas de requisito *requirement diagram* sin embargo, cuando se describe la cuestión dando valores escalares al diagrama, este empieza a convertirse en un diagrama generativo que Alexander define como el puente entre el diagrama de requisito y la forma.⁵

Son dos los conceptos básicos de la teoría de conjuntos que Christopher Alexander utiliza sobre la base matemática, que estudia un cierto tipo de “objetos” llamados conjuntos y sus relaciones con su entorno ampliado.

Conjunto: Colección de cualquier tipo de objetos considerada como un todo, una multiplicidad vista como unidad; entidad completa bien determinada. Los objetos que forman al conjunto son nombrados elementos del conjunto o miembros del conjunto. Por colección entenderemos a una agrupación que está determinada por una propiedad enunciada por medio de un lenguaje preciso. Todo conjunto es una colección de objetos, pero no toda colección de objetos es un conjunto.

Relación de pertenencia: El ser elemento de es una relación binaria o de dos argumentos entre dos objetos de la teoría de conjuntos. Esta relación va de un objeto a otro, donde el segundo objeto es necesariamente un conjunto y el primero puede ser o no un conjunto.

Esta larga exposición sobre las motivaciones de su trabajo y la relevancia de la matemática y la lógica, culmina con un ejemplo concreto descrito en el apéndice 1 referido a una comunidad en India de unas seiscientas personas. Los dos apéndices del libro remiten al ejemplo y a las fórmulas matemáticas de combinación de posibilidades. El número inicial de objetos o *misfits* asciende a 141 parámetros que serán sometidos a reglas de interacción (combinación de objetos) dando como resultado esquemas de distribución espaciales. En esta última parte del texto, en el apéndice 1, Alexander está sentando las bases de la teoría de grafos que será utilizada en la ingeniería del software para establecer relaciones a través de interfaces gráficos. 3.9

Alexander termina la explicación de su modelo matemático de descomposición en un apéndice 2 3.8 con una serie de formulaciones y cálculos que dan como resultado los esquemas formales de traslación directa al plano arquitectónico, quizás el mayor logro de Alexander de incorporar el cálculo automático como instrumento generativo que sustituye los procedimientos

⁵Traducción de la autora

Since $k_{00} = k_{11} = \nu_{ij}$ and $k_{01} = k_{10} = -\nu_{ij}$,
this makes the partial correlation equal to

$$\frac{4\nu_{ij}\delta}{4(1 + 2k_{\lambda}\delta)} = \nu_{ij}\delta$$

to the first order in δ , which is very small. Hence the partial correlation is $\nu_{ij}\delta$ for all λ , and satisfies condition 2.

Thus the measure

$$p(\sigma) = \frac{1 + k_{\sigma}\delta}{2^m}$$

has been shown to satisfy conditions 1-5, and is therefore, to within the stated approximations, that distribution uniquely determined by these conditions.

The probability distribution generated by this function for a specific graph is illustrated below.

$$p(0000) = \frac{1 + 3\delta}{16}$$

$$p(0001) = \frac{1 + 5\delta}{16}$$

$$p(0010) = \frac{1 - \delta}{16}$$

$$p(0100) = \frac{1 - 3\delta}{16}$$

$$p(1000) = \frac{1 - \delta}{16}$$

$$p(0011) = \frac{1 - 3\delta}{16}$$

$$p(0101) = \frac{1 - \delta}{16}$$

$$p(1001) = \frac{1 + \delta}{16}$$

$$p(0110) = \frac{1 + \delta}{16}$$

$$p(1010) = \frac{1 - \delta}{16}$$

$$p(1100) = \frac{1 - 3\delta}{16}$$

$$p(0111) = \frac{1 - \delta}{16}$$

$$p(1011) = \frac{1 - 3\delta}{16}$$

$$p(1101) = \frac{1 - \delta}{16}$$

$$p(1110) = \frac{1 + 5\delta}{16}$$

$$p(1111) = \frac{1 + 3\delta}{16}$$

Figura 3.8: Christopher Alexander. Página del estudio de caso en el apéndice *Notes on the Synthesis of Form* (1964)

Figura 3.9: Christopher Alexander. Diagrama de relaciones y espacios *Notes on the Synthesis of Form* (1964)

de trabajo tradicionales.⁶

el último párrafo del texto indica:

*“These and other methods have been programmed for the **IBM 7090**, and are described in full elsewhere (*). It is important, and rather surprising, that the techniques do not suffer from the sampling difficulties often found in hill-climbing procedures, but gives extremely stable optima even for short computation times”.*
(Alexander, 1964)

3.2.1.2. La Ciudad no es un árbol.

“El árbol de mi título no es un árbol verde con hojas. Es el nombre de un modelo de pensamiento. El semi-retículo es el nombre de otro modelo de pensamiento, más complejo” (Alexander, 1988)

⁶En la página 184 del apéndice destinado a los cálculos matemáticos remite a que para su modelo de variables ha implementado estructuras de transferencia de información de Shannon-Wiener.

A través de un análisis crítico de la relación entre morfología y programa intenta identificar una serie de medidas de diseño para generar ciudades complejas al tiempo que vivibles (Alexander, 1988). Alexander plantea que cualquier punto de partida debe ser abierto; tan abierto como sea posible siguiendo funciones análogas a las matemáticas.

“The units of which an artificial city is made up are always organized to form a tree. So that we get a really clear understanding of what this means, and shall better see its implications, let us define a tree once again. Whenever we have a tree structure, it means that within this structure no piece of any unit is ever connected to other units, except through the medium of that unit as a whole.

Las primeras conclusiones de su tesis doctoral son rápidamente transferidas a una reflexión sobre la ciudad en uno de los textos claves en la historia del diseño de urbano *La ciudad no es un árbol* (1965) cuyo punto de partida es la diferenciación entre ciudades *naturales* y ciudades *artificiales*. Claramente alabando las bondades de lo natural por espontáneo y optimizado frente a diseños de ciudades *ex novo*, producto de un gesto formal del diseñador.

Alexander argumenta que una ciudad natural tiene la organización de un semi-retículo; sin embargo, la ciudad artificial es “diseñada”, organizada siguiendo la estructura de un árbol. El árbol y el semi-retículo son dos maneras de concebir cómo una gran colección de muchos sistemas pequeños viene a componer un sistema vasto y complejo. Volviendo al rastro del lenguaje matemático, ambos son nombres usados para referirse a estructuras de conjuntos.

Según la propia definición de Alexander ya enunciada en su trabajo doctoral, un conjunto es una colección de elementos que por alguna razón se conciben formando un grupo. “Desde el momento en que, como diseñadores, somos responsables de la vida de la ciudad desde el punto de vista de lo físico, de su estructura, nos restringimos naturalmente a considerar sólo los conjuntos consistentes en colecciones de elementos materiales tales como la gente, las hojas de hierba, los automóviles, los ladrillos, las moléculas, las casas, los jardines, las cañerías, el agua que corre por ellas, etc.” (Alexander, 1988)

Cuando los elementos de un conjunto pertenecen a él, lo componen, porque cooperan o trabajan juntos de alguna manera, llamamos *sistema* a ese conjunto de elementos.

Como vemos en estas dos representaciones, la elección de los subconjuntos aislados convierte a la colección de unidades en un conjunto con una estructura general. Esta es la estructura que nos interesa. Cuando la estructura cumple ciertos requisitos, se llama semi-retículo. Cuando cumple otros más restrictivos, se llama árbol.

En el esquema principal que da pie a la tesis del libro, Alexander des-

Figura 3.10: Christopher Alexander. Esquema de jerarquía en árbol frente a relaciones complejas

cribe con diagramas de Euler-Benn su estructura básica de relaciones humanas.3.10. Los dos diagramas de la derecha son el A y B y los dos de la izquierda son el C y D. Se muestran de manera conjunta para permitir la comparación.

El axioma del semi-retículo es el siguiente:

Una colección de conjuntos forma un semi-retículo si, y sólo si, cuando dos conjuntos que pertenecen a la colección se superponen, el conjunto de elementos comunes a ambos pertenece también a la colección. La estructura ilustrada en los diagramas A y B es un semi-retículo. Satisface el axioma ya que, por ejemplo, (234) y (345) pertenecen a la colección y su parte común (34) también pertenece a ella. (En lo que respecta a la ciudad, este axioma establece simplemente que, dondequiera que dos unidades se superpongan, el área de superposición es una entidad reconocible y, por lo tanto, también una unidad. En el caso del ejemplo de la farmacia, una unidad consiste en la expendedora de prensa, la acera y el semáforo; otra unidad es la farmacia misma, con su entrada y la expendedora. Las dos unidades se superponen en la expendedora. Claramente, este área de superposición es en sí misma una unidad reconocible y, por tanto, satisface el axioma anterior que define las características del semi-retículo).

Los diagramas A y B generan esquema de semi-retículo.

El axioma del árbol establece:

Una colección de conjuntos forma un árbol si, y sólo si, para cualquier par de conjuntos que pertenecen a la colección, o bien uno está totalmente contenido en el otro, o bien son disjuntos.

Los diagramas C y D generan esquema de árbol.

Alexander defiende así, con una demostración matemática que el modelo de semi-retículo es en potencia una estructura mucho más compleja y sutil que el árbol. Pone como ejemplo una analogía que expresa que un árbol basado en 20 elementos puede contener como mucho 19 subconjuntos de los 20, mientras que un semi-retículo basado en la misma cantidad de elementos puede contener más de un millón de subconjuntos diferentes.

La variedad enormemente mayor muestra la gran complejidad estructural que puede alcanzar el semi-retículo cuando se compara con la simplicidad de un árbol. La falta de complejidad estructural, característica de los árboles, es el motivo que entorpece la concepción de la ciudad. Esto viene motivado porque los ciudadanos, usuarios finales de las ciudades, tienen una tendencia subyacente cuando se enfrentan a una organización compleja, a reorganizarla mentalmente en términos de unidades no solapadas. La complejidad del semi-retículo es sustituida por la más simple y fácilmente abarcable forma del árbol.

Alexander establece a continuación una reflexión sobre modelos de ciudades artificiales, diseccionando la caracterización de cada uno y desarrollando un axioma gráfico del modo de estructura ligado al funcionamiento. Se trata de toda una declaración y análisis crítico-matemático del modo en que en ese momento se están diseñando ciudades. Una de las cuestiones más fascinantes es su análisis crítico de ejemplos que se han considerado pilares del diseño urbano de la segunda mitad del siglo XX;

Se reproducen aquí literalmente las más relevantes, puesto que el lenguaje que utiliza para comentarlos y la elaboración de un diagrama para cada uno es significativo de su pronunciamiento profesional como urbanista.

Plan de Tokio, Kenzo Tange. Este es un hermoso ejemplo. El plan consiste en una serie de circuitos anulares extendidos a través de la bahía de Tokio. Hay cuatro anillos mayores, cada uno de los cuales contiene tres medios circuitos. En el segundo anillo mayor, un medio circuito es la estación de ferrocarril y otro es el puerto. Cada medio circuito contiene a su vez a otros tres menores, cada uno de los cuales encierra un sector residencial, excepto en el tercer anillo mayor, donde uno contiene oficinas de gobierno y otro oficinas industriales.

Chandigarh, Le Corbusier. Toda la ciudad está servida por un núcleo comercial ubicado en el medio, unido al centro administrativo localizado en el extremo norte. Dos núcleos comerciales subsidiarios se extienden a lo largo de las arterias principales, de norte a sur. A su vez, subsidiariamente a éstos, hay otros centros administrativos, comunitarios y comerciales, uno por cada sector de los veinte que forman la ciudad. 3.11

Ciudad de Mesa, Paolo Soleri. Las formas orgánicas de la Ciudad de Mesa nos llevan a creer, echando un primer vistazo descuidadamente, que se trata de una estructura más rica que la de los otros ejemplos, más descaradamen-

Figura 3.11: Christopher Alexander. Esquemas de árbol de los modelos de Tokyo y Chandigarh

te rígidos. Pero cuando la miramos en detalle, encontramos precisamente el mismo principio de organización. Consideremos, en particular, el centro universitario. Encontramos el centro de la ciudad dividido en un barrio universitario y en otro residencial, dividido a su vez en un número de villas (que de hecho son torres de apartamentos) para 4.000 habitantes, cada una subdivida nuevamente y rodeada por unidades residenciales aún más pequeñas.

Brasilia, Lucio Costa. La forma completa pivota alrededor de un eje central y cada una de las dos mitades es servida por una arteria principal. Esta arteria está a su vez nutrida por arterias secundarias paralelas a ella. Finalmente, estas últimas están alimentadas por los caminos que rodean a las super-manzanas. La estructura es un árbol. 3.12

Alexander finaliza su alegato con un ejemplo que simboliza a la perfección el problema. Recogido en el libro de Hilberseimer titulado *La Naturaleza de las Ciudades*. Describe el hecho de que determinadas ciudades romanas surgieron del asentamiento de campamentos militares. A continuación muestra una foto de un moderno campamento militar como una especie de forma arquetípica de la ciudad. No es posible concebir una estructura que sea más claramente un árbol. El símbolo es acertado, pues la organización del ejército fue creada precisamente para generar disciplina y rigidez. Cuando a una ciudad se le dota de una estructura de árbol, el efecto es similar sobre la forma y el modo de vivir en ella.

En la segunda parte de este texto Alexander demuestra por qué una ciudad viva no puede estar contenida en un receptáculo estructurado como un árbol ya que en realidad, toda su vida nace del hecho de que no es un árbol. Un ejemplo que sí funciona con elementos solapados es el área de vecindario de Waterloo Road según el plan de Ruth Glass. Ver imagen adjunta en la

Figura 3.12: Christopher Alexander. Esquema de árbol del modelo de Brasilia y esquema de jerarquías que conducen a esa estructura funcional

Figura 3.13: Procedimiento de gestión de nuevos proyectos en el Campus Oregón.

que se describen relaciones de solape, verdadera noción de semi-retícula.^{3.13}

Más adelante en su trabajo, Alexander se centra en un plano más abstracto, incidiendo en el carácter sistémico del diseño arquitectónico. En su texto *Sistemas que generan sistemas* (Alexander, 1968) Alexander establece la dualidad del objeto como agente de computación y como método, proceso de computación. Insiste en el carácter recursivo y repetitivo de una serie de abstracciones que dan lugar, más bien generan otros sistemas. Cifra en cuatro los aspectos de dicho sistema como proceso generativo:

- Existen dos nociones en la palabra sistema: sistema como entidad completa y la idea de sistema generativo
- Un sistema completo no es un objeto sino un modo de mirar un objeto. Se centra en la propiedad holística que solo puede entenderse como la interacción entre las partes.
- Un sistema generativo es un conjunto de partes junto con las reglas de combinación de las mismas
- Todo sistema completo está generado por un sistema generativo. Si queremos crear entidades que funcionan como un “todo”, debemos inventar sistemas generativos que los creen.

3.2.1.3. El lenguaje de Patrones

El corpus principal de la aportación de Christopher Alexander se plasma en la trilogía donde se enuncia la creación de un lenguaje propio basado en patrones. En ella se plantea un nuevo desarrollo instrumental generativo y compilador de arquitecturas desde planteamientos transversales con la ciencia de la computación. Al generar una nueva gramática con elementos

y relaciones, establece las bases fundacionales para un sistema, un nuevo código y un proceso.

El orden de esta trilogía es interesante, debemos recordar que el modo en que Alexander establece su lectura es inversa a la secuencia temporal de redacción de los textos. Ordenados para estructurar teoría, sistema y desarrollo empírico, todo ello conforma un conjunto “como una serie de libros que describen una actitud completamente nueva hacia la arquitectura y el urbanismo”; que deberá leerse en este orden: el volumen I *Timeless way of building* (1979), el volumen II, *A pattern language* (1977) y por último *The Oregon experiment* (1975)

Según el autor el primer libro proporciona la teoría e instrucciones, el segundo libro el propio lenguaje, o sistema de lenguaje de patrones.

En *Timeless way of building* (1979) se establece una sucesión de temas que han supuesto un modo de organizar propiedades y atributos en una serie de disciplinas del campo de la computación:

- La cualidad. Propiedades de patrones identificables. “para encontrar el modo intemporal debemos antes identificar la cualidad que no tiene un nombre concreto”.
- La puerta. Sobre lenguaje y código “para alcanzar esa cualidad genérica debemos construir un lenguaje de patrones como medio”.
- El camino. sobre el proceso de aplicación del lenguaje. “Una vez construida la puerta es posible atravesarla para adentrarse en la práctica del modo intemporal de construir”.

En su introducción, Alexander indica que la lectura de las distintas partes del libro puede acometerse de manera gradual en campañas sucesivas, desde un primer encuentro con las grandes categorías, resaltadas en las introducciones de los capítulos, hasta una lectura en detalle de piezas de muy pequeña escala. Se trata este de un texto que tiene un sesgo marcadamente subjetivo; en contraposición con la segunda parte, es un tratado personal en forma de sentencias y evocaciones; una especie de cuaderno personal gobernado por sensaciones, muy alejado del estricto y riguroso “método” del segundo volumen. Si acaso se trataba de un texto preparatorio para la segunda parte, sorprende el planteamiento y hasta el estilo literario. En el capítulo dedicado a la cualidad, remite a una serie de elaboraciones literarias para describir lo que no puede nombrarse puesto que estamos ante una subjetiva descripción de cual es la verdadera cualidad de lo arquitectónico. El conjunto de fotografías, recopiladas a lo largo de catorce años por el autor, contribuyen a dicha atmósfera de subjetividad.

Un autor muy distinto encontramos en el extenso texto nodal *A pattern Language*. Aunque desarrollado en colaboración con su equipo de Berkeley,

se manifiesta el planteamiento inequívocamente matemático de Alexander que recoge el legado de *Notes on the synthesis of form*.

Alexander argumenta en el párrafo inicial del texto que es necesario generar un lenguaje común de patrones óptimos para el diseño de edificios y ciudades. Prepara así al lector para enfrentarse a un inventario a la par que a un procedimiento de diseño. Dada la extensión y la interesante estructura de lectura del mismo, lo convierte más en un manual de diseño que en un tratado teórico.

La construcción de un lenguaje de patrones es un ejercicio de recopilación de problemas y soluciones a cuestiones de diseño arquitectónico. Por esa razón, cada patrón está descrito como genérico abriendo combinaciones específicas según condiciones del entorno. El lenguaje se construye con todos esos casos y todas las familias de soluciones, en una construcción matricial de infinitas combinaciones.

La construcción general del texto se articula en torno a un procedimiento algorítmico para la identificación, descripción y generación de patrones: “Los elementos del lenguaje son entidades llamadas patrones. Cada patrón describe un problema que ocurre una y otra vez en nuestro entorno y lleva implícita la solución a ese problema, de un modo tal que se puede usar esa solución un millón de veces sin hacerlo de igual modo dos veces”. Soluciones, en respuesta a lo que se denomina “problema” de diseño, desencadenante inicial para el que hay que describir unos límites, un contorno, y un rango de resultados posibles.

“A pesar de su simplicidad superficial, incluso los problemas más pequeños tienen detrás una serie de necesidades y actividades que no es posible resolver intuitivamente” (Alexander et al., 1977)

El método descrito en el libro, trabaja desde reglas generales pero también por compendio de casos. Se describe profusamente una muestra de 253 patrones que generan, por combinatoria, una ilimitada cantidad de posibilidades. La identificación de patrones y la descripción completa de las relaciones que se establecen entre los mismos, contribuye a crear un lenguaje de patrones.

Se formatea el texto en una secuencia de patrones desde lo territorial al detalle: ciudades, edificios, soluciones constructivas. Los primeros 94 patrones tratan estructuras de gran escala, distribuciones en el territorio donde las relaciones del espacio de habitar, trabajar, jugar, marcan la arquitectura de los asentamientos. Los siguientes (95-205) tratan las diversas identidades de los edificios desde su condición de mediadores entre la escala urbana y la detalle, y finalmente se describen una serie de patrones (205-253) que incorporan procedimientos de construcción combinados con resolución de detalles de orden espacial doméstico. Lo más relevante de esta secuencia es que está basada, según su autor, en los enlaces conceptuales entre patrones.

Figura 3.14: Christopher Alexander. Collage de los elementos descriptivos del patrón 30

El esquema estructural o formato de cada patrón es el siguiente: Observemos el patrón 30 NODOS DE ACTIVIDAD (el código marca que el nombre del patrón siempre se escribe en mayúsculas y de doble asterisco indica que este patrón se considera sólidamente probado). ver imagen 3.14 Cada patrón comienza con una imagen que muestra un arquetipo representativo de dicho patrón. Un texto introductorio establece el contexto del patrón, indicando cómo contribuye a completar otros patrones mayores, en este caso se relaciona con los patrones (14), (31), (52) y (100) que remiten a aquellos que tratan conexiones y actividad del espacio público.

Más adelante se identifica en una frase la esencia del problema: *“los espacios públicos dispersos de manera individual por la ciudad no contribuyen a generar vida en la ciudad.”*

Esto se desarrolla en una explicación sobre la base empírica de definición del patrón, y el modo en que se puede manifestar en una construcción. En este caso, se comparan situaciones concretas para identificar posibles soluciones.

A continuación se enuncia una solución en forma de instrucción, para aclarar lo que es necesario para construir ese patrón: *“Créense nodos de actividad a lo largo de toda la comunidad, repartidos en torno a unas trescientas yardas unos de otros. Primero deben identificarse esos puntos de la comunidad donde se concentra la acción. Después modifique el trazado de los senderos para atraer los máximos posibles haciéndolos pasar por esos puntos. Esto convierte a cada punto en un nodo en la red de caminos. Entonces, en el centro de cada nodo, diseñe una pequeña plazuela y rodeela de equipamiento comunitario y tiendas que son complementarios.”*

Finalmente, la estructura de cada patrón se culmina con un diagrama con “etiquetas” que explican sus componentes esenciales.

después de culminar el patrón, se añade una última sentencia enlaza

el patrón con otros posibles patrones de rango inferior que completan los atributos de ese patrón. En este caso, se vincula con patrones superiores; PASEO (31), VIDA NOCTURNA (33), GRADIENTE DEL ESPACIO PÚBLICO (36) etc. Del mismo modo establece vínculos con patrones inferiores PEQUEÑAS PLAZUELAS (61), CAFÉ CALLEJERO (88) o PUESTOS DE COMIDA (93)

Cada patrón es un enlace entre escalas: Alexander explica esto con un ejemplo, que es extrapolable a los 253 patrones del compendio. La relación entre el patrón ESPACIO VERDE ACCESIBLE(60), está conectado a patrones más grandes como LÍMITE ENTRE SUBCULTURAS (13), VECINDARIO FAMILIAR(14), COMUNIDAD DE TRABAJO (41) y ESPACIOS TRASEROS DE TRANQUILIDAD(59), condiciones de gran escala que se describen en la primera página del patrón. Del mismo modo está conectado con patrones de rango inferior descritos en la última página de cada patrón, ESPACIO EXTERIOR POSITIVO (107), ESPACIO DE ÁRBOLES (171) y MURO DE JARDÍN (173).

Esto quiere decir que 13, 14, 41 y 59 están incompletos si no contienen al patrón 60, y que el patrón 60 está incompleto si no contiene los patrones 107, 171, 173. Así se genera un campo semántico compartido entre los distintos elementos gramaticales.

“ Hay dos propósitos esenciales en este formato. Primero presentar cada patrón conectado a otros patrones de manera que se perciben los 253 elementos como un todo, como un lenguaje, dentro del cual es posible crear infinitud de combinaciones. Segundo, presentar el problema y la solución que conforman cada patrón de un modo tal que puede ser analizado y modificado sin perder la esencia que es nodal en él.” (Alexander et al., 1977)

Otro de los principales objetivos de este manual de trabajo basado en la construcción de un lenguaje es que no puede existir sin una comunidad de usuarios: mediante la utilización del mismo contribuyen a perfeccionarlo, ampliarlo, depurarlo, y encontrar nuevos invariantes que lo hacen evolucionar. Aboga además por aportar hallazgos de los que pueden beneficiarse desde una estructura de información compartida.

Se puede entender así que los patrones son entidades vivas y en evolución. Cada patrón puede ser considerado una hipótesis, un patrón en grado de tentativa que sólo con la experiencia de la construcción, el uso y el paso del tiempo puede consolidarse como un invariante de ese lenguaje. El hecho añadido de que los autores denominan este proceso “un lenguaje de patrones” incide en la condición de que no es único, y que es uno más de los miles de lenguajes posibles que los arquitectos serán junto con los usuarios, serán capaces de desarrollar en el futuro.

A pesar de este trabajo previo, Christopher Alexander se dio cuenta que el diseño no era algo matemático, no podía realizarse sin tener en cuenta las sensaciones y estaba muy relacionado con la vida. El diseño debía respon-

Figura 3.15: Incorporación del lenguaje de patrones al Experimento Oregón.

der a necesidades de personas. A partir de esos años su producción teórica se humaniza y se plasma en textos más orientados al diseño real. Tal y como evoluciona más adelante, los sistemas completos tal y como los concibe Alexander son, consecuentemente sostenibles y orientados ya a los sistemas naturales (The Nature of Order 2003). Elaborará una serie de mecanismos basados en las relaciones de autosemejanza y relaciones escalares en la naturaleza. De nuevo en un texto próximo al millar de páginas, Alexander recoge las cuestiones destinadas al diseño ecológicamente articulado.

3.2.1.4. El Oregon Experiment

Parece innegable que la contribución sobresaliente del autor como teórico, académico y diseñador de un sistema generativo de arquitectura contrasta y se superpone por derecho propio sobre su producción estricta de la práctica de la construcción. Nos remitiremos a dos casos, relevantes puesto que describen el intento de implementar su lenguaje de patrones, estamos refiriéndonos a un proyecto de escala media el campus universitarios en la Universidad de Oregon. Claramente es un experimento de escala media donde se podía poner a prueba los procedimientos cifrados en a *Pattern language* y que además se dilatan en el tiempo durante décadas. En el esquema se puede ver la inserción de varios de los patrones originales en el caso concreto de Oregón.3.15.

Resulta curioso arriesgado evaluar un proyecto que ha evolucionando a lo largo en el tiempo, en las que se ha implementado el planteamiento fundacional del mismo prolongando la inserción gradual de los patrones iniciales de diseño. Sin embargo, opera como un privilegiado laboratorio de pruebas

Junta de Planificación
de la Universidad

Universidad de Oregón
Eugene, Oregón

PROPUESTA DE PROYECTO

Título del proyecto:

Grupo de Usuarios (Indicar el nombre del grupo, de cada uno de sus miembros y reseñar la población representada): Somos un equipo de siete personas: 5 de la administración, un estudiante y un miembro del Comité de Planificación de la Universidad. A medida que el proyecto resuelva detalles más concretos nos dividiremos en grupos más pequeños.

Fecha:

No utilizar más de 5 páginas y usar el siguiente método:

1. PROBLEMA BASICO: ¿Cuál es el problema básico que se propone resolver?
2. PROPUESTA: Dar una descripción completa de la propuesta: ¿En dónde? ¿Qué hay que preservar? ¿Qué hay que cambiar? ¿Cómo se relaciona la propuesta con el medio ambiente ya existente? Ilustrarlo
3. PATRONES: Indicar la utilidad o la no aceptación de los patrones compartidos por la Universidad
4. DIAGNOSIS: ¿De qué manera se ajusta la propuesta a la diagnosis? ¿De qué manera mejora la situación anterior?
5. COSTE: Coste aproximado
6. FINANCIACION: Fuentes de financiación previstas

Página 1

1. PROBLEMA BASICO: Tres problemas básicos son la causa de nuestra propuesta:

A - Reparar los servicios existentes. Aproximadamente la mitad de las actuales instalaciones han sido declaradas inútiles por el arquitecto de la Universidad.

B - Organizar las relaciones entre los servicios - a veces muy alejados - y entre los servicios y la comunidad a la que sirve - a menudo muy alejada también.

C - Crecimiento: necesitamos más espacio. O sea que, además de reparación y organización, necesitamos ampliar.

2. PROPUESTA: Proponemos la renovación de la mitad Sur del edificio, sustituyendo la mitad Norte por otro edificio nuevo. Los nuevos edificios serán de tres plantas y se alinearán siguiendo la Calle 13, yendo de Este a Oeste. Los edificios se conectarán por arcos a nivel de la segunda planta. En planta baja se ubicarán tiendas. Además los edificios se abren a espacios exteriores: una plaza en el lado Norte y una zona verde en el lado Sur. El extremo Oeste de la calle conforma una plaza juntamente con el Centro de Estudiantes y el anexo de la Facultad de Ciencias.

Figura 3.16: Procedimiento de gestión de nuevos proyectos en el Campus Oregón.

de los hallazgos y errores del propio sistema, lo cual es una circunstancia atípica de estudio. 3.16 Se muestra el procedimietno de propuesta de proyectos para la evaluación colegiada de proyectos. Aún hoy se sigue gestionando el campus según ese procedimiento. Perduran los elementos básicos de las directrices de diseño en el planeamiento general y se han consolidado los tan intensamente defendidos patrones en el aún vigente lenguaje de diseño que se utiliza en el campus.

Se trata de un experimento vivo cuyo origen se remonta a los finales delos años 60. La clave de aplicación puede cifrarse en el primer patrón dela lista REGIONES INDEPENDIENTES. Puesto que establece las propiedades espaciales, territoriales que delimitan el punto de partida del compendio. Un experimento que marca un modo participativo de operar en el territorio aún hoy en día inspirado en planteamientos librepensadores de los sesenta norteamericanos.

Como curiosa implementación, insertada como experimento dentro del experimento, en el campus de Oregon Buckminster Fuller construiría una de sus cúpulas geodésicas en los años 50.

Debemos tener en cuenta en todo momento que los patrones son una herramienta más de diseño entre muchas otras. De hecho, Christopher Alexander define en su libro "The Oregon Experiment" hasta seis principios que se deben seguir a la hora de diseñar, uno de los cuales es utilizar un lenguaje de patrones. El segundo, en lo que se refiere al diseño de interacción, dice: "El principio de participación: todas las decisiones sobre qué construir y cómo construirlo deben estar en manos de los usuarios." (Alexander, 1975)

Figura 3.17: Evolución en el tiempo del Campus de Oregón (1972-1985-1997).

El trabajo estrictamente proyectual de Christopher Alexander en el campus de Oregon se ha extendido a lo largo de cuarenta años, en un registro considerablemente amplio de ejemplos de marcado tradicionalismo. 3.17

3.2.1.5. ANALISIS. Sistema, Código y Proceso en Christopher Alexander

En referencia a Christopher Alexander, una circunstancia contamina el análisis crítico de su trabajo. No procede diferenciar entre esos tres aspectos y este análisis muestra una condición redundante necesaria para explicar el entrelazamiento que gobierna su trabajo.

Proceso. En lo referente a proceso existe una clara dinámica de orden matemático formal.

Herbert Simon cite: “el diseño es la transformación de estados existentes a estados adecuados” y “El diseño es un proceso evolutivo de descubrimiento y redefinición, que no puede predecirse por anticipado ”.

El desarrollo de los aspectos conceptuales de Alexander están basados en el concepto de transformación. Esta transformación originada en conceptos algebraicos clásicos, de operaciones con polinomios. Este resultado marcó el comienzo de la teoría de Galois que se ocupa del estudio detallado de las relaciones existentes entre las raíces de los polinomios. La máquina diferencial de Charles Babbage fue diseñada para crear automáticamente tablas de valores de funciones logarítmicas y diferenciales, evaluando aproximaciones polinómicas en muchos puntos. Puede enlazarse en este concepto a ambos personajes.

El proceso incorpora dosis de subjetividad, lo cual delimita la originalidad y la identidad del proceso en Alexander, que marca su modo de tratar la cuestión de la participación.

La primera consideración es el cambio en el código y en el modo de denominar los procesos clásicos de diseño arquitectónico: sustituye “cuestión” a diseñar por “problema”. Este problema puede ser formulado en claves matemáticas y resuelto del mismo modo. Y la clave reside en identificar todas las variables $m, n, \dots$ tanto físicas como metafísicas, tal y como se explica

Figura 3.18: Christopher Alexander. Sistemas que generan sistemas. operaciones generativas.

en el patrón 30 del texto, donde en un solo ejemplo, Alexander es capaz de inventariar múltiples variables. Una vez identificadas, les asocia una clase, lo cual es una dinámica esencial para trabajar con conjuntos.

El proceso en Alexander es también un tránsito permanente entre escalas que se prolonga a lo largo del tiempo. Alexander propone como uno de sus mecanismos de trabajo con sistema, un esquema de operaciones básicas simplificados a través, como no podía ser de otra manera, con unos sencillos diagramas. Encierran esos símbolos un algoritmo que abarca casi todas las operaciones posibles de evolución de un elemento inicial.

Código. Se describe a continuación la visión de los códigos arquitectónicos en Alexander, demarcando los aspectos en los que está más interesado y en cómo modifican su trabajo, los nuevos códigos arquitectónicos.

Su percepción del código está centrado no en una manera estilística de generar arquitectura sino en una manera algebraica. Es decir estableciendo nuevos mecanismos de relacionar objetos arquitectónicos. Su inventario de elementos arquitectónicos incorpora tanto detalles constructivos como relaciones sociales subjetivas. El establecimiento de una gramática completa: de un lenguaje a base de patrones que son al mismo tiempo gráficos y conceptuales. El origen se basa en relaciones algebraicas entre conjuntos y un pensamiento de sistema, no es exactamente matricial, puesto que Alexander implica en el procedimiento una dinámica secuencial de acontecimientos e inserciones subjetivas.⁷

En su primer tratado sobre la síntesis de la forma, incorpora diagramas sencillos que explican las relaciones entre el usuario, el contexto, y el espacio, entendidos todos como nodos de una estructura unida por relaciones. en esos

⁷Sorprende la necesidad de incorporar acepciones subjetivas para legitimar un trabajo de partida estrictamente matemático. Ver índice de *Timeless way of building*

primeros esquemas las líneas tienen significado, grosor y dirección en un claro ejercicio convertir los usos y las actividades en relaciones vectoriales. En la página 43 de *Notes*, por ejemplo establece que “el proceso para generar una forma es la acción para relacionar una serie de *subsistemas* interrelacionados pero lo suficientemente libres o independientes unos de otros para poder adaptarse a cambios locales en un tiempo determinado”.

Traslación de la operación matemática compuesta de símbolos, al diagrama, que incorpora actividad, uso e identidad. Para Alexander un Diagrama expresa las consecuencias físicas de una condición, es generador de forma e incorpora acción. “El puente entre el requisito y la forma”⁸

La base transformadora de este código, que luego se consolidará en su lenguaje de patrones, reside en que lo esencial es disponer de un repertorio de modelos de distintas escalas (objetos definidos) lo más amplia posible y establecer un sistema combinatorio de los mismos. Dichas operaciones Alexander maneja estos conceptos sobre un planteamiento sin escalas, o más bien “multiescala”, donde las relaciones y los objetos pueden tener distintas escalas y aún pertenecer a una misma clase. Es un modo esencial de pensamiento matemático de deshacer el orden clásico jerárquico de clasificación basado en dependencias anidadas que permitirá más adelante al autor tratar dichas relaciones en el diseño de cualquier espacio, edificio, intersticio o ciudad, de un modo sistemático.

Su uso del dibujo es marcadamente esquemático por dos razones claras; por un lado como herencia de los grafos matemáticos, a nivel de enlaces y espacio vectorial. Por otro lado para dotar de agilidad la aplicación del método del lenguaje de patrones. Es un dibujo claramente topológico, donde lo esencial es representar categorías y relaciones, en vez de un dibujo más descriptivo. Este código cambia radicalmente en los patrones de orden constructivo donde la descripción del detalle constructivo tiene un rigor técnico intachable; lo que en grandes patrones se indica con esquemas, en los detalles se especifica a nivel de plano de taller.

El último referente a los códigos de transmisión de trabajo reside en el modo de estructurar sus textos desde el punto de vista formal: tiene una forma de escribir muy profusa, donde se combina el lenguaje matemático con una cierta poética. El uso de diagramas combinado con fotografías de orden onírico así lo muestra.

Sistema. El aspecto más consistente para analizar el trabajo de Alexander desde los parámetros marcados en la metodología, tienen que ver con el sistema. En el caso de Alexander, hablamos del centro de su investigación y su producción arquitectónica.

Pero Alexander, aún a pesar de partir de un pensamiento matricial de la estructura de pensamiento, establece con rotunda claridad que se concibe un sistema como una estructura completa, no como una agrupación de elemen-

⁸ Alexander, C. *Notes on the synthesis of form*

Figura 3.19: Christopher Alexander. Sistemas que generan sistemas. Ilustración inicial del libro.1968

tos. Esta distinción resulta fundamental porque lleva implícita una cuestión de vínculos generativos.

Como ejemplo expone una analogía con la medicina. Los médicos están acostumbrados a tratar con sistema completo donde todo está interconectado, sin embargo, los procesos que han llevado a la culminación del sistema de vida humano no es la suma de sus partes sino la especialización gradual de sus células según se van definiendo las funciones a que irán destinadas.

Alexander escribe un código genético. Está basado en el aprendizaje, en la observación y registro de patrones que han probado ser solución a algún problema de partida. El lenguaje es desarrollado como herramienta para generar un entorno completo es lo que el diseñador pretende conseguir: el sistema es el mecanismo y también es el resultado.

El sistema completo propuesto por Alexander es recursivo. La repetición de pasos sobre resultados de pasos previos, induce una modificación (alteración). La completitud del sistema se garantiza a través de un determinado algoritmo: conjunto de instrucciones “gramaticales” encaminadas a un avance en resolución de un problema. Su algoritmo, volviendo a revisar su lenguaje de patrones es de orden gramatical, de relaciones semánticas y estructuras sintácticas coherentes, que conducen a una forma no matemática. Como se puede observar por la ilustración que Alexander elige para iniciar el texto, la noción de sistema dentro de sistema está implícito.^{3.19}

Es fundamental el concepto de escala que maneja Christopher Alexander. Para poder aplicar su esquema de una estructura de lenguaje (y motivada por ello) necesita trabajar siempre con la gran escala. Con estructuras ontológicas lo suficientemente amplias como para garantizar una suficiente complejidad. Su modelo de patrones abarca todas las escalas, es cierto, pero no adquiere una densidad suficiente si no trata ámbitos amplios. Es destacable que en ese modelo escala remite a autosemejanza, a las propiedades intrínsecas del sistema que se reproducen en cualquier sub-sistema o parte del mismo.

El lenguaje de patrones tiene la estructura de una red. Este pronunciamiento establece una condición espacial de manejo de esta gramática que es al mismo tiempo método (sistema), código y procedimiento (proceso). Cada patrón es un enlace entre escalas.

Más adelante en su carrera profesional, Alexander se centra en un plano más abstracto, incidiendo en el carácter sistémico del diseño arquitectónico pero desde la computación. En su texto *Sistemas que generan sistemas* (Alexander, 1968) Alexander establece la dualidad del objeto como agente de computación y como método de computación. Insiste en el carácter recursivo y repetitivo de una serie de abstracciones que dan lugar, más bien generan otros sistemas. Cifra en cuatro los aspectos de dicho sistema como proceso generativo:

- Existen dos nociones en la palabra sistema: sistema como entidad completa y la idea de sistema generativo

- Un sistema completo no es un objeto sino un modo de mirar un objeto. Se centra en la propiedad holística que solo puede entenderse como la interacción entre las partes.
- Un sistema generativo es un conjunto de partes junto con las reglas de combinación de las mismas
- Todo sistema completo está generado por un sistema generativo. Si queremos crear entidades que funcionan como un “todo”, debemos inventar sistemas generativos que los creen.

Su trabajo también parte de un interés claro en el modo en que tradicionalmente el hombre ha ordenado su entorno vital, es decir, analiza las formas de las construcciones tradicionales desde Sumatra a los esquimales, marcando las condiciones climáticas y de contorno y su incidencia en la forma y el proceso. Tiene una sensibilidad especial para describir los procesos inconscientes y conscientes de los establecimientos humanos en al conformación del espacio. La subjetividad, la identidad humana, la poética también tienen un papel esencial en las condiciones de diseño evocando espacios oníricos en cada uno de esos *paisajes*; esto es único en Alexander, la propiedad de tan excelsamente combinar poética y matemática.

El sistema tiene un acercamiento bottom-up donde los usuarios son también los constructores a través de procesos de colaboración y co-creación de una base común con el consenso colectivo de un lenguaje de patrones compartido. Previo a su *Nature of Order*, Alexander presenta algunas ideas donde distinguía entre estructuras vivas y estructuras inertes estableciendo un paralelismo entre software y hardware. Define quince propiedades geométricas que son recursivas y revelan fenómenos de emergencia en estructuras construidas.

Sobre sistema, en su texto *Sistemas que generan sistemas* Alexander desarrolla la tesis sobre cuatro axiomas que entiende deben recoger los sistemas resultado de aplicar una serie de patrones

Primero. *Dos líneas se ocultan en la palabra sistema: la idea un sistema como un todo y la idea de un sistema generador.* Esos dos aspectos aunque aparentemente similares, son lógicamente muy distintos. En el primer caso, la palabra “sistema” se refiere al aspecto particular holístico de una única cosa. En el segundo. La palabra “sistema” no se refiere en absoluto a una sola cosa, sino a un conjunto de partes y leyes combinatorias en grado de generar muchas cosas.

Segundo. *Un sistema entendido como un todo no es un objeto sino una manera de ver un objeto. Reside en un fenómeno holístico que solo puede ser entendido como producto de la interacción entre las partes.*

Tercero. *Un sistema generador no es la visión de una cosa única. Es un conjunto de partes con normas que regulan el modo en que esas partes pueden combinarse*

Cuarto. *Casi cada “sistema como un todo” se genera por un sistema generador. Si queremos hacer cosas que funcionen como “todos” tendremos que inventar sistemas generadores que las creen.*

El axioma significa lo siguiente: para asegurar las propiedades de sistema holístico de los edificios y de las ciudades debemos inventar sistemas generadores cuyas partes y leyes crearán las propiedades de sistema holístico necesarias para su propio ajuste. El diseñador pasa a ser un diseñador de sistemas generadores, cada uno de ellos capaz de generar muchos objetos, y no un diseñador de objetos individuales.

3.20

...el diagrama que aparece en el Apéndice B.

3.2.2. NICHOLAS NEGROPONTE. *Architecture Machine*

A mediados de la década de los 60, en el mismo momento en que se están publicando los primeros trabajos de Christopher Alexander en el entorno universitario de la costa Este de Estados Unidos, en el Massachusetts Institute of Technology se está graduando en Arquitectura, otro personaje cuya materia de investigación transita en la frontera entre arquitectura e inteligencia artificial.

Nicholas Negroponte, había sido educado en un entorno privilegiado de centros educativos de élite en Estados Unidos y Europa. El decantarse por la facultad de Arquitectura del MIT frente a Harvard, de las dos posibles universidades Bostonianas, es indicativo de su inclinación por las tecnologías de la información y la computación en un momento de despegue de la Inteligencia Artificial, que la alternativa de formación arquitectónica más convencional. Es relevante el poco interés mostrado por formar parte de una comunidad de arquitectos, mas ortodoxos aún inmersos en un espléndido momento en que aún vivo Wright, Kahn está en pleno desarrollo de sus propuestas más maduras y la escuela estaba dirigida por José Luis Sert (1953-1969).

Se gradúa de la en 1966 como arquitecto, pero dado que había trabajado ya en cuestiones de diseño asistido por computadores, centra su investigación en la relación del diseño arquitectónico con la cibernética. Es el momento en que congrega a un grupo investigadores con distintos perfiles, William Donaldson, Leon Groisser, Gary Moore, en torno al *Architecture Machine Group* en 1967. Desde sus comienzos, existe una confianza ciega entre los miembros del grupo en las posibilidades de desarrollo humano y social a través de la tecnología y que sólo era posible desde una comunidad dedicada y ampliable formada en un lugar de intercambio. Ese es el origen del Laboratorio Media Lab, que comparte las principales virtudes de aquellos atributos evolutivos descritos en el capítulo anterior de esta tesis.

Negroponte se desvela un personaje mucho más interesado en las herramientas; en descubrir cómo incorporar procesos de inteligencia artificial a la

Figura 3.20: Christopher Alexander: Noción de Sistema, Código y Proceso. (Paula Montoya)

acción de proyectar. Su objetivo no es generar un sistema desgajado del arquitecto sino un entorno colaborativo de diseño para el que el arquitecto está obligado a incorporar las mejores condiciones de creatividad e innovación.

Por esta razón este capítulo se desarrolla a través de varias de sus investigaciones, todas ellas de carácter experimental, que es el modo de trazar su contribución esencial a la historia de la arquitectura, asumiendo que su trabajo se ubica en la periferia de una obra arquitectónica convencional. Las investigaciones siempre estuvieron dictadas por la estructura de un trabajo colaborativo.

Parece claro que los supuestos de innovación tal y como los concebía Negroponte, especialmente en un entorno como el MIT, están amparados bajo una sólida estructura tecnológica. Un arranque deudor de una rigurosa intermediación técnica, parece menos peligroso que cuestionar los pilares disciplinares sin coartada. La estrategia inicial es la búsqueda de nuevas herramientas al servicio de los viejos procedimientos. Que fueran las herramientas las que fueran el acelerador de transformación completa de la disciplina, es un fenómeno que exponemos a continuación.

En los inicios de su trabajo como investigador, Negroponte tiene un acercamiento disciplinar, tomando como punto de partida algunos aspectos de la arquitectura tradicional mediterránea. Identifica la existencia de condiciones locales dentro de un *sistema general* como el alfabeto de la lengua vernácula. Siguiendo este concepto de un sistema global “objetivo” que permite soluciones intuitivas locales, Negroponte propone un marco de una tecnología de la construcción y la información con capacidad de adaptación e inserta en el proceso de diseño un dispositivo, una máquina para hacer arquitecturas que denomina “amplificador de diseño” que constituye la interfaz entre la infraestructura y las necesidades en permanente cambio del usuario.

El carácter visionario de su propuesta motiva el comentario de Marvin Minsky : “ Nicholas era increíblemente productivo (...) pensando en cosas que nadie más pensó que podían hacer las computadoras”

De este modo el objetivo era permitir que los computadores participaran en actividades que nunca antes habían implicado computación y propiciar que la gente tratara con las computadoras del mismo modo que con sus semejantes. El desarrollo de entornos inteligentes ha sido especialmente espoleado por el concepto de *computación ubicua*⁹ a la que nos referimos a menudo a ella como la intersección entre las ciencias de computación, ciencias del comportamiento y diseño. De ahí surgirían los trabajos iniciales del *Architecture Machine Group*, en el MIT que desarrollarían a lo largo de los años setenta y ochenta un gran avance esencial en el diseño de interfaces y de entornos arquitectónicos computerizados.

⁹ Computación ubicua es un término acuñado en 1988 por Mark Weiser como modelo que trasciende el ordenador personal, distribuyendo tareas de procesamiento que modera las relaciones hombre-máquina y hombre-hombre

Figura 3.21: Nicholas Negroponte: Esquema ilustrativo de la comunicación hombre-máquina

Es importante ubicar las condiciones en las que se produce este fenómeno: estamos en un lugar de investigación aplicada, alejada de la teoría, donde Negroponte y su grupo llegan a desarrollar líneas de programación vinculadas al National Science Foundation y al Departamento de Defensa Norteamericano. Todo el entorno de investigación está financiado desde la Fundación Ford, que permite implementar tecnología suministrada por IBM con grandes fondos disponibles.

Como se aprecia en la figura anexa, la relación de desarrollo mutuo entre el hombre y la máquina depende de la comunicación, en la que basa la gran mayoría de sus proyectos. 3.21 En su artículo preparatorio *Toward a Theory of Architecture Machines*, publicado en el Journal of Architecture Education marzo 1969, Negroponte establece la pertinencia de propiciar esa relación con las máquinas: “la cuestión no es acerca de máquinas que pueden producir arquitectura; es un prólogo hacia máquinas que pueden aprender arquitectura e incluso *aprender a aprender* arquitectura” Llamemos a esas máquinas *máquinas de arquitectura*; la alianza entre un arquitecto y tal dispositivo es un diálogo entre dos sistemas inteligentes, hombre y máquina, capaces de producir un entorno de progreso”.

Es esencial analizar la importancia de la noción de “máquinas de hacer

arquitectura” sistemas con capacidad de evolucionar que trabajaban en simbiosis con el diseñador y con el usuario. Las claves teóricas se desarrollarían más adelante en el texto “The Architecture Machine. Toward a More Human Environment” (?). Le seguirían *Soft Architecture machines* de 1975, un desarrollo instrumental de los conceptos avanzados en ArchMac; un compendio de herramientas de diseño por computador y programas integrados en el diseño arquitectónico que serán relevantes para el desarrollo de las siguientes décadas.

En 1985 este germen se consolidaría en la fundación del *MEDIA LAB*, un laboratorio abierto destinado a investigaciones sobre la interacción hombre-máquina en la generación de arquitectura, desde proyectos siempre híbridos entre varias disciplinas. Aún hoy, el Media Lab es un centro multidisciplinar de medios de inteligencia artificial destinados a ampliar el entorno tecnológico del ser humano.

Tal y como veremos a lo largo de dos proyectos híbridos esenciales, según Negroponte, un ordenador puede asistir en el proceso de diseño de tres modos distintos:

- mediante la automatización de procesos corrientes
- mediante la modificación de métodos tradicionales para adaptarlos a métodos computables
- mediante un intercambio en el que “el proceso de diseño, considerado como evolutivo, se presente a una máquina, también considerada como evolutiva y, a partir de ahí, pueda comenzar a desarrollarse en ambas partes un cierto aprendizaje, crecimiento y capacidad de adaptación” (*a mutual training, resilience and growth*)

Este último aspecto es el que dirigiría las investigaciones de Negroponte a lo largo de los siguientes años de su carrera académica.

3.2.2.1. El proyecto SEEK

Aunque este primer proyecto/ experimento de diseño asistido por ordenador pretendía ser participativo esta dinámica fue pronto abandonada. Curiosamente, Negroponte denota que los más cercanos a los conceptos discutidos Architecture Machine Soft se plasman empíricamente en el proyecto *SEEK* desarrollado para una exposición en el Museo Judío de Nueva York en 1970. El proyecto, también conocido como *Blockworld*, era una parte provocadora de la exposición “*SOFTWARE. Tecnología de la información: su nuevo significado para el arte*”, comisariada por Jack Burnham. cite

La muestra consistía en una instalación de un recinto cerrado por un perímetro de plexiglás de unos 3 metros cuadrados donde se colocaba una población determinada de unos pequeños roedores procedentes del desierto

Figura 3.22: Intalación del experimento en la sala del Architecture Machine Group. 1970

de Mongolia. La construcción interior es un paisaje de bloques de lámina metálica. Suspendida sobre la jaula se encontraba un sensor unido a un brazo robotizado conectado a un procesador. Se trata de un paisaje variable, y la posición de las piezas era constantemente reorganizada por el dispositivo robótico. La distribución de los bloques corresponde a un dibujo en planta generado y almacenado en el computador de SEEK.

Los cubos conformaban al mismo tiempo un paisaje de alta densidad y un campo de acción para las búsquedas de alimento de los ratones, condición o restricción principal, del que se implementó el nombre. Redistribuían el hábitat según sus hábitos de vida, alimentación y reproducción. En su colonización del espacio, los animales arremetían contra los módulos, redistribuyendo y provocando el colapso de las torres de cubos. En el cuartel general del grupo se instaló el sistema híbrido máquina-roedor mientras se iban registrando rigurosamente los procesos de aprendizaje de la máquina.

El sistema automatizado era un procedimiento de muestreo y análisis acerca de los resultados que pueden mapearse cuando se exponen elementos vivos (objetos dinámicos con un cierto comportamiento) interactuando con un dispositivo cibernético que es parte integrante de su entorno. Dentro de la memoria del computador, un modelo en planta, representación geométrica del ecosistema en el que los ratones habían crecido con la misión de mantener la distribución inicial en la medida de lo posible (fijando así una variable espacial arquitectónica). Pero la misión más importante era detectar acontecimientos inesperados en ese entorno. El programa podía apilar, alinear

Figura 3.23: Sistema de brazo móvil para operar el experimento SEEK

y distribuir los bloques de metal con la ayuda de un electro-imán y siete sensores de presión en el extremo del brazo móvil.

El resultado era un incesante proceso de redistribución del espacio derivado de la no coincidencia entre el modelo ideal del ordenador y el modelo real tridimensional en constante transformación. El papel de SEEK era procesar y dar respuesta a esos conflictos. A lo largo del proceso, SEEK, dio muestras de tener un patrón de comportamiento puesto que sus reacciones se basaban en probabilidades y estaba programado para corregir o ampliar las dislocaciones causadas por los ratones.

Negroponte estimaba que el objetivo del proyecto estaba implícito en el proceso.: SEEK es trivial y simple, pero va más allá del modelo en el que las máquinas pueden responder a la naturaleza impredecible de seres vivos, animales o personas. Ese espacio de búsqueda supuso una increíble anticipación en cuestiones que tienen que ver con algoritmos genéticos. 3.23

Figura 3.24: Nicholas Negroponte revisa la evolución del experimento. 1970

El Architecture Machine Group intentaba recuperar el diseño urbano y del entorno del hombre para el propio usuario. Sostenían que si eran capaces de diseñar un sistema digital que puede comunicarse con un arquitecto profano en el lenguaje de programación, podrían así mismo generar un sistema que puede convertir a cada hombre en su propio arquitecto.

El resultado, o la secuencia de resultados era el trazado de movimientos de los roedores en una realidad tridimensional y el procesamiento *in ground* de las masas de datos del procesador de SEEK. Jugarían un esencial papel los mecanismos de interfaz entre el ordenador y los ratones, capaz de almacenar datos con los que re-alimentar la memoria del sistema. La tarea fundamental de SEEK es analizar esas variaciones, y establecer modelos para predecir el comportamiento de los objetos vivos.

El concepto básico es que el mecanismo debía observar la interacción de los jerbos con su hábitat (los bloques), y poco a poco “aprender” de sus “preferencias” mediante la observación de su comportamiento. Esta máquina fue concebida tanto como un “modelo de mundo cibernético” como un “laboratorio conductista para la observación y la experimentación” capaz de establecer reglas de comportamiento”. En la fotografía, Negroponte revisando la instalación en el Museo Judío de Nueva York. 3.24

La máquina era divertida y aterradora al mismo tiempo, mostrando una simulación lúdica y artística de un modelo de futuro, cuya ejecución ya podía vislumbrarse. El comisario de la exposición, Jack Burnham, llegaría a declarar , , de la siguiente manera: “de algún modo esto nos remite a HG Wells, en su dimensión futurista ... estamos ya inmersos en el futuro, y este escena-

Figura 3.25: Uno de los “agentes” del proyecto Seek

rio puede suceder. Y con la gente, no con ratas.” formulado en la entrevista para la película "La Red". No es posible juzgar la relevancia del experimento en función de este comentario pero sí se puede asegurar que el experimento captó la atención (por orden de magnitud) de la opinión pública, de investigadores científicos y de otros muchos arquitectos. Muchos años después, la relación entre procesos biológicos y de espacio de optimización (lo que al fin y al cabo buscaba desentrañar el experimento) serían decisivos para un desarrollo de arquitecturas basadas en la morfogénesis y la morfoecología.

3.2.2.2. El Architecture Machine

El trabajo del Laboratorio Architecture Machine Group, que se consolida entre 1970 y 1972 ilustra la indagación en la construcción de sistemas generativos sobre la base de inteligencia y reacción con el contexto. Una máquina de arquitectura expresa su inteligencia aprendiendo del usuario y ejecutando las acciones oportunas en el momento adecuado, sobre la base de un modelo abierto.

La traslación de una idea tridimensional a una realidad construida, también tridimensional, se ha realizado tradicionalmente a través de la mediación de una convención geométrica en verdadera magnitud llamada dibujo diédrico. Este procedimiento es una simplificación y retrasa el circuito entre ideación y construcción. La perspectiva es el medio de representar una realidad tridimensional en una superficie plana. Desde el desarrollo del instrumento del dibujo, se establece la necesidad de encontrar instrumentos, invenciones que permitieran esa representación: desde la perspectiva en el renacimiento de la mano de Alberti en 1432, ese modo de instruir la geometría evolucionaría a través de la imagen fotográfica y finalmente la imagen dinámica.

Negroponte establece un punto de partida crítico con respecto a ese lenguaje, que en el caso de la arquitectura es el interfaz entre información y

materia.

Busca cambiar ese concepto de *mediador*, convirtiéndolo en un facilitador, un traductor entre realidades tridimensionales dinámicas en vez de un paso por una “representación” plana que lastra el proceso. Su intención es ya generar un prototipo *performativo*, descartando representaciones simbólicas.

3.26 La imagen que ha trascendido a lo largo de la historia del Grupo de investigación remite al procesador central del Architecture Machine.

El gran interés del modelo que procesa un computador es que no tiene que ser diédrica. Es el primer momento en que lo que se traslada es un modelo virtual aunque exacto del real. Un computador puede procesar miles de imágenes tridimensionales, y puede trasladar los datos de un cuerpo geométrico a su memoria a través de otros procedimientos que no son. El sistema *Lincoln Wand* que Robert Larry desarrollo en el laboratorio, anticipa el trabajo de los escáneres actuales rastreando las coordenadas x,y,z de los puntos claves de un volumen a través de transmisores ultrasónicos, y reconstruye el modelo por cálculos trigonométricos. Se trabaja siempre sobre un modelo 3D.

Lejos de ser una amenaza para el trabajo del arquitecto, la relación de diálogo con la máquina multiplica la capacidad creativa del arquitecto disparando el número de soluciones a un problema que pueden considerarse a un mismo tiempo un arquitecto, proclama Negroponte. En ese diálogo, el procedimiento es compilador, incorporando soluciones en todo el proceso, descartando sólo en la fase final. Existen dos modos de trabajar sobre un modelo: de manera abierta sin restricciones ni elementos de coacción y con una rígida serie de restricciones. En el primer caso, se generan múltiples soluciones que el arquitecto luego evalúa para elegir la que encaja con unos parámetros impuestos a posteriori; la segunda ofrece la solución óptima que cumple con todas las condiciones. Está claro que son dos modos muy diferentes de establecer el campo de trabajo puesto que la primera genera espacio indeterminado o un modelo abierto (GRASP, COMPROGRAPH, RUMOR) y la segunda perfectamente determinado pero cerrado. Remitiendo a los proyectos de estudiantes LEARN y GROWTH, nos encontramos que la base del aprendizaje reside en trabajar con modelos abiertos, generando familias completas de soluciones, que van poco a poco depurando las cualidades del prototipo. Será el origen del programa de investigación principal el Grupo, el URBAN5.

Aparece aquí el concepto de simulación que incorpora al modelo tridimensional unos atributos de relación y *comportamiento* como reacción a un entorno definido. Para analizar comportamientos hay que implementar de nuevo múltiples posibilidades de reacción, lo cual implica trabajar con una infinita cantidad de datos: el modelo, su movimiento y su evolución.

Es por ello que es especialmente operativo en el trabajo de modelos de ciudad donde no se puede trabajar con modelos completos para anticipar

Figura 3.26: La base del laboratorio Architecture Machine Group

comportamientos y es necesario recurrir a simulaciones. Esos datos necesitan de una inmensa memoria (proyecto DISCOURSE y MEMORY) se desarrolla al mismo tiempo en el Urban Systems Laboratory.

3.2.2.3. El proyecto URBAN5

El reto de construir en la práctica una máquina de arquitectura se demostró una tarea bastante compleja. El URBAN5 fue el primer programa en que se intenta desarrollar los conceptos de conversación, diálogo e inteligencia, referidos al espacio colectivo. Se trata de un programa de diseño on line que puede memorizar una planta y algunos criterios para el usuario y el arquitecto, ayudándole a desarrollar un proyecto. Pero era necesario implementarle algún dispositivo a una computadora central que le permitiera “visualizar” y reconocer modelos simples.

Nota . En la figura se muestran los componentes del sistema externo del Programa. La pantalla de tubo de rayos catódicos es una IBM2250 model1 que tenía una memoria local de 8000 bites, es decir 8k que albergaba la secuencia de instrucciones. Ese dispositivo estaba conectado a una máquina de time-sharing IBM360/67 que actuaba de procesador.^{3.27} En la fotografía de laboratorio, se muestra la arquitectura del sistema y los componentes del arquitecto asistente para espacio urbano indeterminado.

Conversaba con arquitectos sobre cuestiones de diseño urbano usando unidades básicas de cubos de 10pies como unidades celulares con las que generar edificios. Es reseñable el hecho de que los cubos de 3m de lado (10 pies) marcan la identidad física del módulo básico sobre la que se aplican una serie de relaciones y propiedades que se van etiquetando con el sistema de incorporar un menú de atributos de distintas naturalezas descrito en el procesador OVERLAY. ^{3.28} En la fotografía se muestra la tableta de matriz de operaciones que combinaba variables según condiciones de uso. Dicho menú en matriz con variables de posibilidades que caracterizan las relaciones entre los cubos. Cada una de ellas se denomina *modo*. Esa asignación de valores establece un territorio complejo de operaciones cualificadas sobre elementos capaces de generar espacio a través de relaciones. Está estableciendo un código genético. Cada persona que utiliza el sistema construye un banco de memoria de su propio vocabulario y definiciones de las palabras que usa en su campo particular de arquitectura. Es este un ejercicio de aprender desde únicamente aquellos aspectos que son visualmente representables, por ello es esencial definir los códigos de representación, asociando valores y atributos a cada elemento. La máquina observa un sencillo cubo tridimensional de 10 pies de lado, reconoce lo que ha visto (usando capas de heurística) y extra-pola ciertas características (patrones, probabilidades, intenciones). Después de que un primer módulo es reconocido, la máquina identifica un segundo, y un tercero.... hasta 10 soluciones con 10 bloques. Una vez aprendidos, se le suministra un décimo primer bloque y se le requiere que sea ella la que

Figura 3.27: Arquitectura y Componentes del URBAN5

Figura 3.28: Sistema de operaciones del URBAN5

sugiera una distribución. Según este procedimiento, la solución tendrá una similitud con las 10 que se le han suministrado.

Las imágenes que nos han trascendido de aquel proyecto, reflejan un dibujo muy rudimentario donde las líneas están compuestas de trazos de segmentos unidos, los círculos son poligonales, y el grosor es variable. En un ejemplo del operador Ted Turano, una película nos muestra además una demostración dinámica del proceso, sobre un ejemplo de evolución. Negroponte valora el resultado gráfico del proyecto desde la consideración de una evidente torpeza gráfica, pero precisa que dado que no se trata de un programa de dibujo sino de un programa de diseño asistido por ordenador cuyo objeto es claramente mucho más generativo que de refinamiento gráfico.

Lo más esencial es lo que significa este proyecto: gestionar cualidades (atributos) en una descripción completa en el texto central de Architecture

Machine, se describen los procedimientos de cualificación del mecanismo de ejecución del URBAN5.

La primera de ellas es la cuestión de que el URBAN es un mecanismo de identificación de coherencia o correspondencia entre dos procesos paralelos: el que tiene lugar en la cabeza del diseñador y el que ocurre en la memoria del procesador. Describe esas inconsistencias en forma de *error* que forma parte del procesamiento general de datos. La innovadora cuestión es que cualquiera de esas incongruencias abre nuevas ventanas de diálogo para incorporar procedimientos de corrección.

La segunda refleja la fascinante condición de un monitor ubicuo, que registra lo que ocurre dentro y fuera del procesador ya que de alguna manera es considerado el mecanismo que articula el diálogo; en la fotografía se muestra un avanzadísimo escenario 3.29: Los dibujos resultantes eran una aproximación tridimensional de elementos cúbicos para su distribución en el espacio urbano. Un interfaz directo entre espacio abstracto y el modelo más concreto posible.

La tercera, tiene que ver con la capacidad innata del programa de evolucionar y adaptarse. Estableciendo las razones y cuestiones de un sistema concebido para transformarse. En las páginas conclusivas del libro, Negroponte expone las razones del abandono del proyecto y el inicio de una nueva etapa de proyectos múltiples bajo el epígrafe **Architecture Machines**: el capítulo llamado A postmortem, marca un posibilista recuperación de las principales virtudes y hallazgos del proceso.

Lo verdaderamente trascendente de este planteamiento es que es el contrario de un razonamiento clásico de uso de computadores para generar una solución espacial: el mecanismo directo consiste en suministrar a la máquina una serie de reglas y de elementos y esperar que genere las formas: es lo que se denomina razonamiento verbal orientado a soluciones, que limita el rango de soluciones. “A los ojos de una máquina de arquitecturas el problema es el contrario: dada una forma, generar las reglas... aprender las reglas y más adelante, generar nuevas formas” cite Negroponte .

Pero el diálogo era muy primitivo. De allí se desarrolla el *architecture machine* que estaba conectado a una cámara móvil para recorrer mapas (GROPE), un brazo robotizado (SEEK) una interfaz de tableta gráfica para dibujar soluciones y un software de ensamblaje de todo ello. El modo de poder establecer un diálogo era distribuyendo funciones a otros tantos dispositivos con capacidad de anticipar modelos tridimensionales de a partir de un menú estandar que aparecía en la pantalla. 3.30 Mediante los dispositivos ya utilizados en el proyecto SEEK, se implementa un lector de puntos que es capaz de rastrear puntos ópticos y digitalizarla en forma de mapa de bits.

Figura 3.29: Dibujos resultantes del URBAN5

Figura 3.30: GROPE era un rastreador de mapas digital.

Figura 3.31: Soft Architecture Machine. Fases del experimento Cavanaugh desde el boceto a una traslación automática del espacio mediante elementos arquitectónicos

3.2.2.4. El experimento Cavanaugh

La depuración del Architecture Machine va adquiriendo distintos rendimientos a través de las distintas prácticas de laboratorio. Hacia 1975, se han incorporado los cambios radicales que derivaban de los hallazgos del Architecture Machine y el Urban 5, combinados con desarrollos de interfaz provenientes del Proyecto Seek y del Proyecto Grope.

En el experimento Cavanaugh (1975), o experimento en el reconocimiento de patrones, se trabaja desde el boceto, solicitando al usuario que dibuje la planta de su casa con medios perfectamente convencionales de papel y bolígrafo. Dado que no es arquitecto, dibujará de manera no experta, sobre todo en cuestiones de proporción, y habilidad geométrica. Pero sí será muy capaz de establecer relaciones y correspondencias: de ellas se pueden extraer coincidencias y vínculos, muy útiles para construir representaciones con grafos, como muestra el sistema de gramática de grafos de Grason (1971). Se establece un procedimiento de traducción directa que parte del boceto (sketch) y va relacionando elementos del dibujo a elementos comprende el ordenador: los trazos del dibujo se convierten en puntos; las relaciones entre aspectos se convierten en enlaces; los atributos de proximidad o dependencia se convierten en una lista de atributos de la clase. El inicio del diálogo consiste en mapear el diseño, es decir asociar puntos del dibujo a una estructura de relaciones que no tiene dimensiones. Ese mapa se utiliza para describir distintas soluciones de distribución (primero modulares en forma de hexágono) sobre la base de garantizar las relaciones entre funciones y finalmente una posible distribución de estancias arquitectónicas. 3.31 La imagen muestra un montaje desde el boceto hasta una traslación automática del espacio mediante elementos arquitectónicos.

El programa de reconocimiento de plantas utilizaba partes de código de HUNCH una herramienta de reconocimiento de bocetos en la que colaboraría Gordon Pask, personaje esencial en la relación entre arquitectura y cibernética. Según ese programa, el mayor grado de resolución responde a una serie muy alta de procesos implementados. A esto se aplican rutinas posteriores para avanzar otras relaciones que no son de entrelazamiento espacial. El sis-

Figura 3.32: Soft Architecture Machine. Traslación al lenguaje de Lloyd Wright

tema asociará y adjudicará nombres a los elementos u objetos y a las clases, para poder tener una nomenclatura interna de nodos y vínculos.

El paso final, tan interesante como heurístico consiste en asociar a una distribución arquitectónica a la distribución de atributos. El experimento de Rorick y Handel consiste en asumir la condición y modo de hacer de un arquitecto concreto. En uno de los casos, añade una interpretación siguiendo parámetros propios de la arquitectura de Frank Lloyd Wright. Lo que pudiera ser contradictorio es insertar un “estilo” puesto que pudiera parecer contrario al espíritu de participación descrito en los valores de lo vernáculo, pero es relevante apreciar la inserción de procedimientos heurísticos que se basan precisamente en la adquisición de distintos lenguajes arquitectónicos para un mismo programa. 3.32 Porceso secundario del experimento implementando un lenguaje o estilo definido. En este caso, volúmenes de las Prairie Houses de Lloyd Wright.

En cada uno de estos experimentos, se produce una esencial transformación del código de información del arquitecto que debe transformarse para poder comunicarse con la máquina. Esta circunstancia propicia que se anticipen modos de articular el instrumento de dibujo y el modo de trasladar instrucciones de un diseñador a un agente automático, que hacen necesario

revisar el procedimiento a través del cual se diseña un proyecto de arquitectura. La primera consecuencia es que se abandona el símbolo que no es traducible, puesto que hombres y máquinas utilizan distintos, que se sustituye por un grafo. El grafo es un modelo isomórfico de un boceto, que en Negroponte es un instrumento para la conversación, es el verdadero mecanismo de intercambio. Un trazo que se puede traducir, sintetizar al lenguaje del ordenador. Por esa razón, no es lo mismo trasladar un dibujo a otro formato compuesto por trazos de bits que ejecutar un modelo inteligente de ese dibujo. La consideración del computador como “diseñador asistente” para ese proceso implica un fundamental cambio que colabora en la identificación de cuáles son los atributos intrínsecos de los objetos que conforman el espacio. La segunda consecuencia del trabajo experimental entre Inteligencia Artificial y Arquitectura es que ambos han colaborado en el aumento exponencial de la capacidad de procesamiento de información espacial. Esto permite un altísimo dominio geométrico con definiciones matemáticas precisas y ha influido en que los instrumentos de diseño de que se vale en la actualidad la Arquitectura son operadores enlazados de información. Finalmente, una consideración es necesaria para evaluar la pertinencia del Architecture Machine Group, en procedimientos actuales: su trabajo tuvo una relevancia fundamental en la concepción del proceso como sinónimo de participación. Negroponte incorpora en todos sus proyectos dos cuestiones fundamentales para la creatividad que son la controversia y la evaluación. Esto es fundamental en un proceso de diseño y hace posible que el proceso de diseño sea dual, es decir sometido a visiones en contraste: en coincidencia o en contradicción, base de la creatividad en arquitectura.^{3.33}

3.2.2.5. ANALISIS. Sistema, Código y Proceso en Nicholas Negroponte

El análisis completo de la importancia de Negroponte se cifra en el campo de solape entre Arquitectura y Computación. Describir sus aportaciones, es un ejercicio de extracción de esas relaciones, y dado que no se trata de análisis arquitectónico convencional, es más complejo encontrar el lenguaje apropiado para ello. El objeto de este epígrafe es pues, analizar unas muestras de tejido no especializado puesto que aplica a ambas disciplinas. En el caso de Negroponte, están basadas en una secuencia de experimentos encaenados que pudiera asimilarse a un único proyecto de búsqueda, indagación prolongada en el tiempo.

Negroponte es el exponente máximo del trabajo colaborativo del arquitecto puesto que sus procedimientos no se conciben sino desde el formato de laboratorio, y los rasgos identitarios de su trabajo son patrimonio de un grupo muy amplio de investigadores de otras tantas disciplinas.

En Negroponte **proceso** es sinónimo de *participación*. Esta colaboración se establece a dos niveles; por un lado ocurre entre usuario y diseñador, por

Figura 3.33: Soft Architecture Machine. Registro de actividad de procesamiento

otro lado a nivel de colaboración entre hombre y máquina. Sus investigaciones están encaminadas a la comunicación como relación primaria entre hombre y máquina y se centran en la adquisición de un lenguaje común. Sólo desde el dominio de ese lenguaje nuevo, puede desarrollarse la invención.

Es un proceso basado en la heurística, que se muestra en los distintos procedimientos de trabajo que se implementan en el laboratorio; para cada experimento se cambian los enunciados y los procedimientos, y se definen las premisas de trabajo siempre desde planteamientos originales. Un buen ejemplo de ello es la diferencia entre el proyecto SEEK, un experimento abierto y evolutivo que incluía ratones, y el experimento Cavanaugh que partía del dibujo a mano alzada de un no arquitecto, al que se asociaban después elementos estilísticos del lenguaje figurativo de Lloyd Wright.

En el caso de negroponte, el inicio del proceso está siempre en el dibujo a mano alzada (nota: esto se desarrolla en el análisis de código). En el experimento Cavanaugh se establece un procedimiento de traducción directa que parte del boceto (sketch) y va relacionando elementos del dibujo a elementos comprende el ordenador: los trazos del dibujo se convierten en puntos; las relaciones entre aspectos se convierten en enlaces; los atributos de proximidad o dependencia se convierten en una lista de atributos de la clase.

Negroponte establece que el proceso es el propio objetivo a la hora de plantear un experimento en su laboratorio de comunicación entre hombre-máquina. Es un enfoque claramente no determinístico.

El proceso además está concebido desde la generación de soluciones múltiples, que sólo al final, tras un proceso también heurístico de descarte, se convierte en una solución adecuada, que difiere de ser única o cierta.

Incorpora dos cuestiones fundamentales para la creatividad que son la controversia y la evaluación. Esto es fundamental en un proceso de diseño y hace posible que el proceso de diseño sea dual, es decir sometido a dos visiones en contraste: en coincidencia o en contradicción. Eso garantiza la negociación la evaluación permanente de ideas, y propicia el pensamiento creativo que se extinguiría si no existiese antagonismo, más allá de generar un entorno estimulante para la creatividad. La concurrencia de un “diseñador ampliado” y de un “diseñador artificial” forzará un diseño redundante de tareas superpuestas. Es un proceso de aprendizaje donde el agente natural y el computador establecen una relación complementaria, ampliada y sustitutiva.

Concebida como un ejercicio “distribuido” de inteligencia, el equipo se deshace en sub-sistemas que forman parte del Architecture Machine: un mecanismo heurístico (resuelve los problemas con la mínima demora), un mecanismo de repetición (genera la memoria asociando problemas y respuestas), un sistema de gestión de hábitos (para dar a los robots hábitos para ahorrar tiempo de pensar), un selector de satisfacción (un detector de “estado de ánimo” de modo que el robot puede saber lo prefiere el usuario) y un mecanismo

de conveniencia (de selección de lo óptimo que “desaprende”). Es decir los tres procesos y capacidades computar, almacenar y elegir soluciones.

Con respecto a su planteamiento de alteración del **código** Negroponte establece la relación entre el hombre y la máquina en términos de cooperación, término propio de las ciencias de la computación. En el inicio del libro-manifiesto de su postura profesional marca la necesidad de incorporar la tecnología citando a Mumford, en *The myth of the machine*. Una máquina implicada en hacer arquitectura convertiría el proceso de diseño en un diálogo que altera la dinámica convencional entre hombre y máquina. Para ello es esencial la distinción que hace entre “dibujo computerizado” y “diseño asistido por computador”. Los gráficos de una computadora son un ejercicio de trasladar con más rapidez y agilidad unos dibujos de formato. Sin embargo, una computadora asistente aporta procedimientos no sólo para el dibujo sino para la generación del espacio arquitectónico.

Es importante entender qué traslación de código se realiza entre hombre y máquina. Se abandona el símbolo (que no es traducible, puesto que hombres y máquinas utilizan distintos) que se sustituye por un grafo, el grafo es un modelo isomórfico de un boceto, que en Negroponte es un instrumento para la subjetividad y la conversación, es el verdadero mecanismo de intercambio, un trazo que se puede traducir, sintetizar al lenguaje del ordenador.

El arquitecto dibuja en representación plana diédrica, una abstracción de una realidad tridimensional. Para que el ordenador interprete la realidad del modelo, es necesario trabajar de manera simultánea con varias vistas. Una de las cuestiones esenciales de este proceso aún muy limitado es que sólo pueden dibujarse elementos perfectamente terminados, definidos y en aquel momento simplificados, eliminando cualquier grado de boceto tentativo en el modelo que se traslada al ordenador. Los primeros procedimientos de trabajo tienen lugar con el IBM 2250, Model4, conectada a una tableta Sylvania que registra el trazo de mano alzada del diseñador; pero el delineante debe también identificar las propiedades de cada elemento que traslada, nombrar y etiquetar pacientemente cada elemento del diseño. (Augmented Human Intellect Research Centre, Stanford Research y posteriormente el IBM Cambridge Scientific Center)

Por esa razón, no es lo mismo trasladar un dibujo a otro formato compuesto por trazos de bits que ejecutar un modelo inteligente de ese dibujo. El término dibujo en italiano *disegno* de donde emerge la palabra *diseño*, implica la acción de dotar de atributos geométricos una idea abstracta. El contar con un diseñador asistente para ese proceso de diseño implica que colabora en la identificación de cuales son esos atributos y puede realizarlo con su propio instrumento. Un programa de ordenador es un proceso: una sucesión de instrucciones que se ejecutan y que genera resultados. De hecho, la capacidad de procesamiento está basada en la multiplicidad y ya entonces se trabaja conectando unas terminales entre sí a través de líneas telefónicas

alámbricas.

El medio de expresión del arquitecto es el dibujo que permite representar y fijar sus decisiones y todo el detalle de un dibujo puede contenerse (condensarse) en un símbolo gráfico, en concreto un signo alfa-numérico. Esto plantea una cuestión esencial que tiene que ver con el lenguaje que debe ser común para el ordenador y el operador. Ese lenguaje no puede ser otro más que el de código matemático intercambiable.

Sobre el código de dibujo: de la perspectiva a la halografía.

El tramo final del texto *The Architecture Machine*, cite Negroponte 1970 describe las condiciones de partida de toda una serie de máquinas. Lo que propone es subdividir las grandes asuntos de la inteligencia artificial aplicados al diseño arquitectónico o de dispositivos espaciales. 1. Por un lado la identificación del lenguaje para el diálogo transcribiendo el código de dibujo a los lenguajes de programación 2. Por otro lado, el desarrollo de toda una impresionante familia de interfaces que darán lugar a una línea disciplinar completa en el MIT (ver las interfaces SEEK y GROPE) ya próximos al mundo de los dispositivos mecanizados.

Aparición de los mapas como conjunto de coordenadas de rastreo del movimiento de una máquina. (GROPE es el mecanismo que discurre sobre mapas de información con sensores ópticos) Esto es muy importante.

El concepto de escala en Negroponte es irrelevante puesto que se sustituye por la simulación dinámica

El concepto de **sistema** de Negroponte, es sinónimo de computadora. El objetivo de dicho sistema es conocer y aprender al usuario. De una manera indirecta, para el laboratorio, el sistema ya existe y se transforma por la intervención de las máquinas, que fijan las leyes generales del sistema a través de las herramientas de dibujo y programación del espacio. La máquina es lo un nuevo mediador entre las necesidades del usuario y una serie de criterios objetivos que pueden trazarse entre territorio-estructura y forma.

Un sistema es una infraestructura como combinación de estructuras reales y virtuales.

Además, el concepto de máquina como exponente de una tecnología adaptativa. Ese concepto muy específico de Negroponte que remite a “resiliencia” o la capacidad de un sistema de volver a su estado de equilibrio tras un proceso de adaptación.

NP se refiere a su concepto de *Amplificador de diseño* en este momento NP declara que su intención no es replicar al arquitecto sino elaborar un agente que suple el trabajo, puede desarrollar y contribuir con expertización técnica las intenciones de diseño del arquitecto. El diseño asistido se re-enuncia así como un asistente informado en vez de una máquina inteligente. Una definición más evolucionada del concepto de amplificador de diseño se muestra en un artículo de 1971 de Papert. En él se expone la teoría de que la implementación de un sistema asistido por computador debía ser considerado

Figura 3.34: Nicholas Negroponte: Noción de Sistema, Código y Proceso. (Paula Montoya)

como la ampliación e ilustración del proceso de aprendizaje y razonamiento frente a una exposición a materia subjetiva. Para ello Papert y su equipo incorporan un grupo de niños de corta edad y les proporcionan un lenguaje gráfico de módulos con los que jugar llamado LOGO. 3.34

Para el Grupo de investigación de Architecture Machine este planteamiento cambiaría a partir de 1975 el enfoque de la relación entre usuario y programa. Reflexiona y hace su propia crítica de URBAN5 como el momento en que estuvo más cerca de un *amplificador* de diseño. Incorporaba competencias que no tenían otras herramientas y tenía la capacidad de aprender. Pero su objetivo era asistir al arquitecto, no modificar el modo de concebir el espacio en función de las cambiantes necesidades del residente.

En el sistema de Negroponte el esquema de datos de entrada y de salida de un programa se invierte: en un esquema clásico un *input* que es la especificación del problema y un *output* que es una descripción física (una solución). NP y el AMG proponen el proceso contrario: el input es una distribución física (a través del reconocimiento en vez de la instrucción) y el output es la especificación del problema obtenido. El objetivo es reconocer la estructura de relaciones y atributos frente al modo en que se busca una descripción concreta. Esto va a ser esencial en el futuro paramétrico.

Recorriendo el camino de manera inversa, se obtienen las reglas. Podemos considerar este un acercamiento topológico, tal y como también propone Friedman con el que se siente identificado.

...el diagrama que aparece en el Apéndice C.

3.2.3. CEDRIC PRICE. Arquitectura de modelos abiertos

Cedric Price se educa en una Inglaterra de posguerra devastada pero bien posicionada en el mapa político mundial; en un escenario donde el trabajo colectivo durante la guerra ha dejado patente la necesidad de transformación del esquema de clases británico; el estado instaaura un elaborado sistema de tutela social consolidando un *welfare State* vigente hasta nuestros días. Aunque había desaparecido por completo el Imperio, sí está claro el establecimiento de un nuevo orden de relaciones comerciales y políticas con todos los territorios de la Commonwealth, lo cual añade al escenario una variable más de acogida de poblaciones multiculturales de todo el mundo. Tal y como describe Stanley Mathews,¹⁰ Price nace en 1934 y se cría en un entorno curioso, en la zona industrial del norte de Staffordshire, entre minas de carbón y una zona de producción de cerámica. Su madre pertenecía al clan de los productores de la cerámica Wedgwood, una familia de industriales involucrados en la lucha de clases y vinculados a la fundación del partido laborista de North Staffordshire. Su padre y sus tíos tenían relación con el mundo del

¹⁰Uno de los principales biógrafos de Cedric Price en *From Agit-Prop to Free Space: The architecture of Cedric Price*, 2003

diseño arquitectónico e industrial y establecieron en las fábricas familiares un renovado sistema de producción en cadena, implementando cambios estructurales en los edificios que tendrían influencia en la carrera posterior de Cedric Price.

En 1952 Price inicia sus estudios formales de Arquitectura en St John's College de Cambridge, donde coincide con Christopher Alexander, de modo que comparte el mismo marco educativo basado en la composición, y también bajo la influencia de Nathaniel Lloyd (nota descrito en el epígrafe 3.2.1.) Amplía su marco disciplinar con estudios de matemáticas, arte y física. Y empieza a interesarse especialmente por la historia social. Es desde este momento que Price plantea sus primeros cuestionamientos sobre los rígidos planteamientos academicistas de la arquitectura; sobre el análisis de la relevancia de los grandes edificios de gran carga simbólica (catedrales, palacios) estima que su gran valor radica en combinar una aparente condición de permanencia e inalterabilidad, con una realidad que los identifica como un soporte para permanentes alteraciones. *“Aprende así a entender la arquitectura como un reflejo efímero de las transformaciones de la sociedad y la cultura”*¹¹.

A través de uno de sus tutores en Cambridge, quizás el único que influyó en su modo de hacer arquitectura, Price entra en contacto con la arquitectura de Erno Goldfinger, volcada en un incipiente diseño industrializado con un lenguaje abierto, desarrollado en proyectos como las casas prefabricadas del 1945. Price entablaría con los años una relación de amistad con un personaje que fue para él desde el principio una innegable fuente de admiración: Buckminster Fuller. Éste había desarrollado y patentado ya su mechanical wing y su dymaxion house, que sirvieron de inspiración a los primeros proyectos de un joven Price, en concreto en su proyectos Unit House.

Cedric Price se gradúa en 1955 y se traslada a continuar sus estudios a la Architectural Association de Londres. Aún a pesar de su destreza para el dibujo, Price sigue sin encontrar su sitio en medio de las corrientes disciplinares. Es un personaje fuera de las corrientes estilísticas, no asociable a ningún maestro concreto;

Otro entorno de reunión y divulgación cultural surge en Londres, gracias al *Institute of Contemporary Arts* se yergue como institución para dar a conocer a través de exposiciones los movimientos artísticos más vanguardistas del momento. En 1952 empieza a constituirse en torno al ICA un encuentro de arquitectos, artistas plásticos y críticos del que emanaría el *Independent Group*. Es esencial entender la significación de la oportunidad histórica que esto significa. En un momento en el que el país culmina su período de reconstrucción, se redefine el papel de la cultura como instrumento de integración social. Mucho antes de la identificación la llamada cultura pop, estos artistas e intelectuales reivindican la relevancia social de la arquitectura y su relación

¹¹Ibid. Mathews, Stanley

con la cultura popular aún desde una disciplina “educada” el propio Reyner Banham en 1955 expone la disparidad entre las ideas arquitectónicas en uso y la estructura social británica en radical renovación: “Aún no hemos formulado una actitud intelectual para vivir en una sociedad de usar y tirar. Insistimos en mantener unos estándares estéticos y morales anclados a la permanencia, la durabilidad y lo perenne.” cite (Banham, Reyner *Vehicles of Desire*, Art 1 1955)

Se trata de un momento de fascinación y confianza en la capacidad transformativa de la tecnología en el desarrollo disciplinar. No sólo en las herramientas (pensemos en lo que está ocurriendo en el MIT, en Princeton, y Harvard) sino en los planteamientos ontológicos que cuestionaran los procedimientos de trabajo de arquitectos y artistas. Price se procura a sí mismo un puesto en el Comité de Exposiciones del ICA. Un polo magnético y centro de difusión de variopintas vanguardias. El escenario de cambio es general entre las ciencias: En 1956, en la exposición *Exhibition* muestra a un Richard Hamilton, empleando las teorías de Juegos de John Von Neuman para establecer los parámetros de improvisación de una instalación. En el mismo espacio tan solo tres años más tarde, Ross Ashby dicta una conferencia titulada *Art and Communication Theory*. 1959 que exponía el potencial de la cibernética y los computadores para el arte y la arquitectura.

En esa dinámica de ventana a las tecnologías en diálogo con el arte, se realiza ese mismo año una de las exposiciones icónicas de la época *This is tomorrow*, se plantea un escenario entusiasta sobre la capacidad del diseño tecnológico de liberar el potencial creativo de toda la sociedad. Como es sabido, concurren los arquitectos más relevantes del momento, y Goldfinger incorpora a Price para que le ayude con su instalación. Además de formar parte de una muy relevante pléyade de participantes, siendo aún un estudiante, Price conocerá allí aun personaje vital que le acompañará a lo largo de su carrera: el ingeniero Frank Newby, autor ya de un innovador prototipo, el *skylon* en la exposición de Gran Bretaña de 1951. Con él firmará el Aviario del Zoo de Londres y trabajaría en el Fun Palace y otros muchos proyectos a lo largo de su carrera.

En dicha ocasión Price tiene la oportunidad de coincidir públicamente con Reyner Banham, que ya había escrito acerca de la necesidad de la arquitectura británica de deshacerse de prejuicios y entregarse a las bondades de la tecnología. Es el momento en que se reivindica el antiformalismo, enfocando la figuración hacia el lenguaje industrial y a sus visiones radicales sobre tecnología y sociedad. Otro encuentro que modelará la visión arquitectónica de Price, es el que se produce cuando conoce a Buckminster Fuller en una conferencia en Cambridge en 1959; no sólo se trataba de un personaje que ya le había interesado desde hacía años sino que desde aquel encuentro sellan un gran espacio de intercambio.

En 1961 Price empieza a trabajar en el proyecto de un aviario para el

Figura 3.35: Cedric Price. Diseño para el aviario del Zoo de Londres (1961)

zoo de Londres, junto con el fotógrafo Lord Snowdon. Propone Price una envolvente flexible que pudiera acomodarse a los patrones de vuelo de los pájaros. Una vez que aprueban los encajes iniciales, empieza a colaborar en el diseño de la estructura, para la cual convence a Frank Newby, el único capaz de concebir y calcular el radical diseño que tenían en la cabeza: se trataba de una red tridimensional tensada en varias direcciones del espacio que debía permitir cierto movimiento sin perder estabilidad. Tal y como se puede ver en la imagen 3.35 Newby aplica los principios de compresión discontinua o tensegrity para cubrir una luz de más de sesenta metros a través de unas estructuras de tetraedros. el conjunto se cubría con unos elementos tensores de malla de aluminio. Además de generar una tipología novedosa, espoleados por el hecho de una innovación de programa sin precedentes, el grado de invención se vuelca en la consideración de que la construcción iba a convertirse en un espacio etéreo, una envolvente sólo reconocible por el vuelo de los pájaros en su interior. El hecho de que el “acontecimiento” efímero por naturaleza genere la envolvente de una construcción, sería una de las revelaciones conceptuales que acompañarían a Price en toda su carrera.

Royston Landau, el mayor crítico de arquitectura en la escena británica escribe en el *New Directions in British Architecture* (Landau, 1968) “Price define con rigor el contexto de sus proyectos pero persigue la indeterminación en la esperanza de conseguir que los usuarios de sus edificios los adapten a sus necesidades”.

En la siguiente década Price frecuenta una vida cultural floreciente, di-

vidiéndose entre círculos de actores, artistas, estudiantes, y científicos en los incipientes campos de la cibernética y la teoría de juegos, pero por otro lado también frecuentaba la compañía de periodistas comprometidos, miembros de la política laborista y responsables de sindicatos obreros. Es un momento que incentiva la convicción de Price en el papel social de la arquitectura y el interés por desarrollar conceptos abiertos de trabajo. En ese entorno es en el que Cedric Price conocería a Joan Littlewood, lo cual cambiaría para siempre su carrera.

En la búsqueda de nuevos procedimientos, Price comienza a orientar su trabajo a la adopción de las incipientes teorías sobre cibernética y extenderlo a su campo en forma de arquitectura anticipatoria; Aunque a diferencia de los americanos del MIT, Price no tenía ninguna formación en matemáticas ni en programación, sí estaba muy interesado en el lenguaje de indeterminación que estos procedimientos podían ofrecer. Muchos de sus proyectos nunca construidos integraban conceptos de arquitectura-proceso, difusa, flexible y reactiva; sensible a las necesidades cambiantes de los usuarios. (el término contingencia se instalaría en una relevante parte de su discurso).

Price entendía la arquitectura como un conjunto de reglas de interacción, frente a la idea de imposición de una voluntad formal a un lugar. Plantea cuestiones como *“La tecnología es la respuesta pero ¿cuál es la pregunta?”*. Tal y como también sugiere que, en ocasiones, la arquitectura podía no ser la respuesta necesaria. Esta consideración aparentemente nihilista y revolucionaria por cuestionar la significación misma de la disciplina, encuentra un rescicio por el que volcarse en su práctica profesional.

Price había comenzado a ver la arquitectura mucho más como un proceso que como una forma terminada. “Form is action for engineers and final result to architects” cite Fuller. Las cuestiones del tiempo y el cambio comienzan a dar forma al corpus de intereses de Price. Es en esta época en la que empieza a desarrollar la convicción en el papel social del arquitecto cuya misión estaba encaminada no a generar obras de arte eternas sino proporcionar espacio de alojamiento versátil para adaptarse a los cambios presentes y futuros.

Aunque siente cierto interés ante las nuevas herramientas cibernéticas, en modo alguno puede afirmarse que fueran su objetivo. Si bien es cierto que a lo largo del camino se convertirían en un fascinante medio para llevar a cabo su interés centrado en una arquitectura de la indeterminación.

Price desarrollaría estas ideas en varios proyectos que le acompañan a lo largo de sus carrera y en los que trabaja asociado a varios colaboradores. A lo largo del tiempo recurre a los principios de incertidumbre e incompletitud como catalizadores de una situación cambiante al tiempo que generando un lugar donde también el tiempo se detiene “the Harvest of the quiet eye” (Mathews, 2006).

3.2.3.1. Fun Palace

El encuentro con Littlewood la directora teatral (Rufford, 2011) propicia buscar estrategias abiertas, no sólo para proporcionar el modelo de espacio teatral que ella requería, sino para articular la sociedad capaz de servirse de ello.

Price denomina la condición anticipatoria de la arquitectura como *incertidumbre calculada* y se basa en la *indeterminación*. Para poder asumir e incorporar al diseño lo incierto y lo por-conocer el arquitecto debe indagar en las ciencias de la indeterminación, en aquel momento con resonancias en la cibernética y la teoría de juegos. En un momento, en los años cincuenta, en que en Europa otros arquitectos están incorporando a su trabajo el principio de incertidumbre de Werner Heisenberg a los discursos de indeterminación de Karl Popper.

El trabajo de diseñar ese espacio escénico junto con la autora Joan Littlewood se convertiría en un ejercicio de libertad constructiva y conceptual, donde el recién bautizado *Fun Palace*, sería un residuo educativo y creativo para el ocio. Era fundamentalmente un espacio de libertad y considerando el edificio como un *constructivo* uso del tiempo libre. En la propia arquitectura se desdibujan los límites entre trabajo, educación y esparcimiento. Así es como se concibe el proyecto, como un edificio sistema indiferenciado excepto por el uso esporádico de temporada. Esto lleva implícita la necesidad que que alguien dirija, organice y ordene ese uso para permitir una alternancia viable (operativa).

En el diagrama de usos más relevante del proyecto, se describe una serie de estructuras y andamiajes que ordenan de usos asociados; en un dibujo notoriamente simbólico, lleno de símbolos aunque descriptivo de las relaciones entre usuario y espacio asociado. Se trata de tablero de combinaciones, que encuentra su desarrollo arquitectónica en la planta genérica de usos en el espacio arquitectónico de la planta genérica.

La automatización irrumpe así en el diseño, como proceso que legitima y ordena el funcionamiento del edificio. “cada vez más las máquinas hacen el trabajo por nosotros”. Contribuyen a disolver la dicotomía entre tiempo de trabajo y tiempo de disfrute. El Fun palace se convirtió así en el modo en que una arquitectura podía albergar un programa variable. En ese momento, se puede encontrar un referente análogo en otra propuesta como es el *Sin Centre* que sería una de las bases fundacionales del grupo Archigram en 1961.

Según describe Mathews, el origen cultural puede encontrarse en el hecho de que diseñar para el disfrute tiene algunos interesantes referentes en la arquitectura inglesa del XVIII los Pleasure Gardens de Vauxhall y Ranelagh y de ahí se destila una posibilidad: que los ocupantes o usuarios sean los que definan el espacio. Dado que el programa comienza a centrarse en la idea del espacio hedonista, se hacía necesario acomodar muchos gustos y necesidades distintos, en ocasiones contradictorios, lo cual requería un espacio y un pro-

a combinaciones indeterminadas e imposibles de planificar. No obstante, incluso sin un programa concreto, el edificio debe ser capaz de autorregularse y anticipar, calcular su configuración según condiciones probables de uso. Tenía que ser capaz de aprender patrones de comportamiento y anticipar posibles respuestas adecuadas a una determinada serie de condiciones de partida.

Era necesario trabajar con un procedimiento basado en la cibernética, la teoría de juegos, y la tecnología de las computadoras con las que Price había entrado en contacto a través de las exposiciones y conferencias del ICA. Esto derivará en la necesidad de contar con expertos en cibernética que pudieran establecer el modelo de utilización del edificio: un modelo cibernético que permitía a los sistemas dinámicos autorregularse sin un estado final definido. lo veremos en el apartado de la teoría de la conversación.¹²

El principio rector del edificio es que los ocupantes son los que determinan su distribución y su ordenación, y por tanto, su grado de desorden. El espacio está permanentemente reinterpretado por sus ocupantes, hasta un número de 5.000 (ver Figura 3.37). Hay un continuo flujo de conexiones y acontecimientos que modifican el espacio (ver Figura 3.41). Está colocado sobre un zócalo donde se alojan todas las instalaciones y la configuración interna se genera a través de la ocupación de la estructura de andamios. No existen cierres, ni envolventes ni cubierta, lo que es posible debido a la mega estructura de grúas pórtico que mueven los elementos como piezas en un gigantesco escenario, modificando las condiciones de luz, sonido información y representación. La estructura abierta de las torres aloja los ascensores y elementos húmedos como baños. Los únicos condicionados por un recorrido vertical. Incluso esas piezas están insertadas, de modo que pueden moverse.

La estructura está compuesta de unos pórticos de 18.3 metros de luz donde se alojaban una serie de grúas puente, que conforman la estructura básica (la espaldera del emparrado). Cuando Newby estudia el modelo que le propone Price, decide modificar la estructura planteando una parrilla de estructura de andamiaje sobre la base de 18.3 m a base de torres arriostradas, siguiendo un esquema de tratan. Todas las circulaciones se ubicaban en las torres dejando el espacio intersticial disponible para el programa intercambiable de unidades móviles y desplazables.

(Este no deja de ser un esquema que inicia una fértil corriente funcional precursora de lo high tech, tantas veces asociada al esquema inicial del Centre Pompidou). Todo lo demás, en torno a los ascensores, puede desplazarse siguiendo las demandas de los usuarios. Los ocupantes temporales son al mismo tiempo actores en escena y activos directores del complejo. Lo que más llama la atención, coherente con la voluntad de adaptabilidad del proyecto, es su ligereza. En los primeros dibujos de 1964, en las axonometrías, los con-

¹²Landau, Royston. En *A Philosophy of enabling*. anota acerca de la capacidad transgresora de Price que es una arquitectura fundamentalmente ideológica y ética

tornos y la estructura han desaparecido prácticamente, se dibujan en línea discontinua pero sí se describen en volumen preciso las piezas fundamentales, los espacios de actividad. (ver figura)

Price define el espacio por actividades asociándolo a ambientes de cierta intensidad, eliminando cualquier determinismo formal asociado a la función. Los grandes espacios se modifican cada semana y los espacios pequeños pueden cambiarse incluso varias veces al día (ver Figura 3.38). El edificio en su conjunto no estaba previsto para durara más allá de 10 a 20 años.

Este modo de describir (asociado a una forma de representar) muestra más que nunca un espacio generado desde las relaciones y los atributos eludiendo cualquier referencia tipológica. Las piezas, como en un esquema de circuitos, se marcan con números y de indica con flechas y anotaciones las direcciones de movimiento, más gobernadas por servomecanismos. La no definición de la envolvente marca la clara intención de establecer un proyecto ampliable y alterable en el tiempo, en un régimen de crecimiento paralelo al río (ver Figura 3.39). Las imágenes generadas para describirlo, participan de una voluntad dinámica. Más allá de los dibujos arquitectónicos, insisten en la condición de gran pieza de maquinaria que se percibe desde su funcionamiento; es el documento dinámico el que pudiera describir bien el proyecto.

La incorporación de los medios de computación (como formato no lineal de procesamiento de ideas) será esencial en Price para cambiar el concepto de estabilidad, certeza y solución única. El proyecto estaba destinado a alojamiento y actividades artísticas, ofreciendo un nuevo tipo de programa mutable alternando teatro, arte, educación. Una megaestructura ubicada en la orilla del Támesis para tener acceso a las barcasas de suministro, compuesta de una suerte de andamiajes sin terminar en un estado permanente de montaje y desmontaje (Mathews, 2006). Este edificio sólo adquiere sentido entendido como vehículo activador de la integración social, verdadera motivación del proyecto.

El edificio se idea y diseña desde una comunidad compuesta de comités y subcomités que contribuían a acotar los términos del proyecto. Por el procedimiento de incorporar perfiles de distintos entornos de la cultura, la academia, la política, los medios de comunicación y las asociaciones ciudadanas, se estaba garantizando la pluralidad y una estructura de presión para hacer posible el proyecto dado que desde el principio se vuelca a la esfera pública. En los panfletos distribuidos por la zona cercana al primer solar para el Fun Palace, en la isla de Dogs, se realizan una serie de preguntas sobre las condiciones de vida y trabajo de los habitantes al igual que sobre sus deseos y los aspectos que cambiarían de sus vidas. Hacia finales de 1964 los consultores del FP habían constituido diferentes comités para completar los requerimientos del proyecto. Cada comité estaba encargado de un aspecto distinto y resulta interesante ver la subdivisión de temas: estructura, programación , sociología y cibernética.

Figura 3.37: Cedric price. Diagrama de usos del Fun Palace (1961)

No podemos analizar el trabajo pormenorizado de cada uno de estos comités que fueron desdoblado su actividad e impregnando la sociedad londinense del momento con su actividad, pero sí es relevante establecer la relación entre los comités de programa, es decir de distribución y formalización del edificio, y el subcomité de cibernética. Es relevante destacar, que éste estaba formado a su vez por personajes de distinto campo de conocimiento: artistas, historiadores, psicólogos y sociólogos.

En el siguiente epígrafe, se trata en extensión la relevancia de este subcomité y de la figura de Gordon Pask como impulsor del mismo desde su *Teoría de la Conversación*. describe los objetivos de ese subcomité como el desarrollo de “nuevas formas de entorno capaz e adaptarse para cumplir las necesidades cambiantes de la población y con capacidad de incentivar la participación de la propia población en actividades varias” cite Mathews 2005

Se puede establecer una clara influencia de escenarios *Situacionistas* que Price y Littlewood habían conocido por una conferencia de Constant en el ICA. La figuración de estructuras abiertas que alojan programas cambiantes era claramente un escenario compartido por ambos arquitectos, que rápidamente establecen un espacio de colaboración. El concepto de “situación” como impulsor de propuestas de intervención arquitectónicas más allá del edificio abriría un nuevo campo de operaciones con el que trabajar desde la idea de que arquitectura es mucho más que un edificio y es también una condición.

3.2.3.2. Conversation Theory con Gordon Pask

La incorporación de la cibernética supondría la articulación matemática formal de ese anhelado proceso cambiante. Avanzar un proceso de doble dirección entre la figuración del edificio y la organización funcional del mismo.

Figura 3.38: Cedric Price. Imagen interior Fun Palace (1961)

Figura 3.39: Cedric Price. Imagen Fun Palace desde el río Lea (1961)

Se establecía un itinerario de estricta re-alimentación entre programa y espacio, que remite a los principios básicos de mecanismos de control: Pero es interesante aclarar en este punto que ese control acude a una visión biológica del concepto de realimentación, según el cual es un proceso que permite mantener el equilibrio de un sistema aun a pesar de unas condiciones cambiantes. Sería vital aplicarlo al sistema de reconfiguración del Fun Palace.

Como se muestra en el análisis del proyecto Fun Palace, surgen así conceptos tomados de la programación. Si consideramos dicho proyecto como un espacio programable requiere incorporar una serie de procedimientos indeterminados que evolucionan en el tiempo.

Tal y como se ha descrito en la parte de antecedentes, los modelos de Von Neuman sobre una serie de instrucciones lógicas, precisaban de una estructura que acabaría convirtiéndose en el computador moderno. El programa del Fun Palace en vez de un diagrama convencional de usos, sería mucho más cercano a un programa de computación: una secuencia de algoritmos organizados en función de las relaciones de los objetos. El Fun Palace de este modo, abría espacio de intercambio aportando posibilidades de organización espacial al campo de la cibernética. El papel de la arquitectura también proporciona cierta arboladura a las teorías cibernéticas puesto que puede fácilmente asimilarse a un sistema completo.

Gordon Pask se involucra en el proyecto y establece el Fun Palace Cybernetic subcommittee. Para Pask, el asunto central de la cibernética era el estudio de los modos en que sistemas biológicos, sociales o mecánicos complejos se organizan solos, se regulan se reproducen evolucionan y aprenden. Entendía la cibernética no como un sistema reactivo sólo en un sentido sino como una conversación recíproca entre entidades que tener. Por esa razón orientaba su interés hacia la arquitectura y el diseño, que consideraba mecanismos esenciales de interacción humana.

Pask pensaba que el arquitecto a través del diseño cibernético (sometido a ciertas reglas de control) podría asumir el papel de un ingeniero social; esto es, con capacidad de diseñar también una sociedad. Price por el contrario pensaba que el control cibernético liberaría al autor de su proyecto y delegaría la función de control en los mecanismos automatizados. Es un mecanismo de liberación y que permitiría al arquitecto inhibirse despegarse de la escena del sistema. cite Mathews.cite Pask

Serían los propios usuarios los que diseñarían a partir de un determinado punto, la configuración física y programática del edificio. Como símbolo de una emancipación tecnológica de la sociedad. Desarrolla la *Teoría de la conversación* (Scott, 2001) Andrew Pickering que sirvió de base de muchos de los grandes proyectos evolutivos de la década: lejos de que el entorno se limite a interpretar las necesidades de los usuarios, debería permitir, a través de un diseño lo suficientemente flexible, que el usuario fuera configurando el espacio en función de cuántas necesidades o deseos fueran ocurriendo. 3.40 La

Figura 3.40: Gordon Pask. Diagrama del principio de la Teoría de la conversación

siguiente condición fundamental es que las contribuciones de los ocupantes son más relevantes que las del arquitecto a la hora de organizar el programa, concebido en permanente cambio. Por esa razón, una descripción del proyecto sólo se entiende desde un modelo dinámico. Es una tarea compleja puesto que al ser cambiante, es necesario recurrir a argumentos basados en posibles estados del edificio o configuración temporal de los espacios arquitectónicos. Desde ese acercamiento resulta más lógico analizar el valor del diagrama de configuraciones que el comité cibernético encabezado por Gordon Pask realiza para describirlo.

En el diagrama inicial de 1961 se concibe como herramienta participativa, con la intervención activa de todos los miembros de una comunidad. El proyecto estaba pensado y concebido como una máquina para educar, el espíritu era combinar ciencia y entretenimiento para que la clase trabajadora se educara a sí misma, desde planteamientos de sistema abierto. Price propone en realidad no una red sino una infraestructura de redes. No se limita a establecer las reglas de relación sino a generar los mecanismos capaces de dar soporte a cualquier relación. Price dibuja un esquema inicial de usos en un dibujo que se aproxima a una axonometría, donde registra la identidad y el entorno de uso de cada participante. Está descrito en uno de los documentos más interesantes del proyecto es la planta publicada en AR de 1965 donde

es explican las reglas de interconexión del espacio, dándole un nuevo sentido a la noción de proporción. Utilizando la noción de intercambio de actividad, Price está planteando un soporte conceptual más cercano a un ecosistema en su capacidad de funcionar en permanente estado de reordenación para optimizar recursos.

El objeto último del proyecto era proporcionar un lugar lúdico para todas las clases sociales, lo cual requiere un trabajo de campo recopilatorio de los deseos y necesidades de los usuarios. Esta parte es uno de los puntos principales puesto que no sólo vuelca el proyecto a una esfera social sino que incorpora procedimientos de participación, y finalmente genera un muestreo de datos que son los primeros objetos input de alimentación del programa de Pask. Se realiza un gran sociales que se registran a través de una movilización de encuestas a los usuarios del barrio. A partir de ella se elabora una matriz de usos que se utiliza como variables de entrada en el programa que elabora Gordon Pask. Price trabajó con Gordon Pask en la búsqueda de un modelo cibernético que pudiera describir formalmente en los lenguajes de programación del momento, las leyes de los circuitos de modo que estuvieran en permanente evolución. Para poder realizar los primeros algoritmos que articularan el espacio, Price realiza una serie de estudios sociológicos y de tablas describiendo las actividades y sus condiciones de interacción de unas con otras a través de diagramas que pudieran trazar las combinaciones óptimas entre posiciones de programas.

El subcomité cibernético estaba desarrollando modelos matemáticos, estadísticos, psicológicos sobre la base de cinco grandes tipos de actividad que debían poder acomodar un número entre 3.000 y 5.000 personas al día. Las actividades, y por tanto, los espacios asociados, rotarían al cabo de horas o días, en función del tipo de actividad involucrado. De nuevo, se pone en marcha el mecanismo de circular formularios entre los usuarios potenciales del proyecto, del que se obtiene una serie de actividades básicas con las que trabajar. Puesto que esta información era contrastada con el resto de los comités se producía un incesante debate sobre las zonas y actividades que deberían conformar y en verano de 1964 se genera una relación de programas denominado “lista de 70 proyectos para un Fun Palace” el proyecto dentro del proyecto, convierte al edificio en una factoría de proyectos posibles, aumentando su condición de máquina de arquitectura y uso. De ahí deviene la subdivisión de temas en 6 zonas: 1, la máquina de aprender, 2, espacios de participación, 3, cine y lectura, 4, experimentos científicos, 5, pintura, escultura y arte y 6, música. Esta lista se mantuvo siempre abierta.

El modelo cibernético se basaba en la combinación de todos esos usos a los que asocia unas dimensiones y unas leyes y tiempos de ocupación. Se establecen unas restricciones de partida asociando a cada uso un tiempo de permanencia. El análisis automático de patrones de uso se utilizaba para coordinar y garantizar la viabilidad de los distintos usos simultáneos. Es

decir, establecer un programa de parámetros vinculados.

De ahí deriva la necesidad de simplificar inicialmente condiciones derivadas de la planificación diaria, es decir asumir que el sistema tenía que recalcularse cada día en función de los cambios. No admitía parámetros fijos a largo plazo.

Para ello debía ser un modelo recursivo, donde programa se alimenta de sus propios datos. No existe una alteración que pueda hacerse que no esté referida al estado inmediatamente anterior y al estado vinculado de procesos en paralelo.

La estructura del sistema se sustenta en otros dos operadores: el uso de las tarjetas perforadas, para registrar y asignar recursos de uso del espacio. Las perforaciones del centro de la tarjeta marcan el parámetro “actividad”, y el perímetro un código indicando los parámetros “tamaño”, “ubicación” “tamaño” y “cantidad de tiempo”. esto describe la necesaria relación entre cibernética y electrónica se insertan en este proceso.

Otro aspecto implementado, anticipatorio es el uso del *Pillar of information* que era un banco de datos generado por Roy Ascott. SE trataba de un procedimiento de establecer conexiones entre datos y de rastrear y mapear, registrar en la memoria del sistema, las conexiones de búsquedas establecidas por los procesos. La red de información y asociación resultante anticipó el funcionamiento de una red como internet y de otros planteamientos de estructuras de conocimiento rizomáticas, por establecimiento de vínculos de ideas dispares organizadas en el espacio (Deleuze and Guattari)

El modelo de funcionamiento de uso del FP va derivando hacia una estructuración de control. los parámetros establecidos como básicos se organizan del siguiente modo:

- FP y entorno, patrones de visita
- consideraciones mecánicas y arquitectónicas: capacidad
- actividades interactivas
- participación individual opciones
- sistemas de comunicación e información
- variables ambientales
- formas y lenguaje del programa
- determinación de evaluador de felicidad

cite documentos y anexos del comité cibernético.

Pask procede entonces a establecer las leyes de interacción a través de sus esquemas algorítmicos, de los cuales representamos uno de los más claros,

para describir su funcionamiento. el famoso diagrama 1 3.41, el documento no arquitectónico más relevante del proyecto. En él se describen los algoritmos de entrada de datos, asociación de espacio y tiempo en relación a los otros procesos y salida de datos.

En el diagrama todo el proceso se sintetiza en un flujo de datos donde la gente se asimila como datos de partida(input data). Está organizado de abajo a arriba en tres niveles de organización secuencial: en el nivel inferior, los datos sin procesar de los intereses y necesidades se organizaban mediante las tarjetas perforadas y unos sensores electrónicos y se les asignaba un valor de prioridad, es decir un orden. En el siguiente nivel, el ordenador genera clases mediante la compilación de estos datos que según este orden organizaban el uso del espacio de manera concreta. el algoritmo de selección de actividad de la parte baja del diagrama da una serie de valores que se asocian a puntos concretos del espacio. (que se han cualificado como objetos con atributos)

En la parte superior del diagrama, que compila los valores V1 (valoración de las preferencias individuales) y V2 (ordenación secuencial de actividades) se introducen en un ciclo de realimentación por comparación de datos de entrada (gente no modificada) y datos de salida (gente modificada) Uno de los aspectos que daría pie a un intenso debate es la calificación de gente no modificada y gente modificada como parámetros de entrada y salida del proceso. El programa se compilaba en un computador IBM 360-30. El sistema estaba conectado a una serie de sensores que procedían a interpretar esos datos y reorganizar paredes móviles, y accesos, pasarelas de conexión entre espacios en uso.

El fun palace supuso un esfuerzo colectivo de un grupo de arquitectos, artistas y profesionales, en defensa de un icono de la construcción que era una máquina de programas. En el devenir de su historia en pos de los permisos para construirlo, el proyecto conoció dos posibles ubicaciones: en la isla de Dogs, en un solar industrial bombardeado durante la guerra, que no fue aprobado, y otra en una zona de planificación en la desembocadura del río Lea al támesis, en una pequeña isla en Mill Meads. 3.42 Ubicación original del Fun Palace. Aún a pesar de la repercusión mediática que había tenido el Fun Palace, cuyo registro está catalogado en múltiples fondos documentales, y consiguiera el apoyo del gobierno laborista en debate parlamentario, nunca se llegó a construir.

Pero aunque ese proyecto en concreto representa un avance sin precedentes en la síntesis de tecnología, cibernética y teoría de juegos, éstos eran sólo los medios; nunca el objetivo. Price concibió el fun palace como un organismo arquitectónico anti-estético en continuo cambio. ese es el verdadero valor de su aportación. su motivación fue siempre social a lo que nunca traicionó.

“el Palace no trataba sobre tecnología. Trataba sobre la gente” Price cite Mathews.

Figura 3.41: Gordon Pask. Diagrama 1. Algoritmo de usos para el programa del Fun Palace (1961)

Figura 3.42: Cedric Price. Ubicación Fun Palace junto al río Lea (1961)

3.2.3.3. Potteries thinkbelt

El trabajo colaborativo entre Price y un pequeño ejército de consultores cambia definitivamente el modo en que Price plantea su procedimiento de trabajo como arquitecto.

A esto se añade la cuestión de cuánto habían influido en el diseño cuestiones relativas a la política, a la integración social a través de la educación y los movimientos culturales para redefinir los límites disciplinares. Price trabaja en el *Potteries Thinkbelt* (Price et al., 1966) con el mismo espíritu originado en su confianza ciega en las bondades de la enseñanza a través de lo lúdico. Se basaba en un nuevo concepto de universidad popular, donde los métodos de enseñanza innovadora se vinculan al intercambio de conocimiento. Lo interesante de ese proyecto radica en que la red a nivel de contenidos se extiende regionalmente entre los nodos reales y las líneas de infraestructura existentes.

Price conocía bien la zona donde propone implantar el programa de educación con un proyecto constructivo asociado. Era la zona de sus orígenes familiares, cuna de un marcado activismo político y social que había modelado parte de su ideología arquitectónica.

El proyecto Potteries thinkbelt supone la maduración de las ideas de Price referentes a una arquitectura reconfigurable, temporal (obsolescencia planificada) y el concepto de indeterminación. Por este motivo, Price recupera y madura la inserción de los mecanismos de control cibernéticos sobre un esquema ligado a infraestructuras ya existentes, (lo cual ordena los puntos de partida de los algoritmos) La participación se plasma en un mecanismo por el que el usuario verdaderamente conforma el espacio que no se concibe como un edificio o símbolo terminado. En el caso de Potteries el objetivo es marcadamente educativo (por eso le interesa a la hora de tratar de participación e intercambio en su concepto de aprendizaje)

El contexto del proyecto es muy distinto al de Fun Palace; tal y como viene reflejado en la prensa de esos años se había producido el denominado fenómeno “Brain Drain” por el que profesionales con alto grado de formación habían salido del país hacia países con mejores oportunidades para sus carreras intelectuales y académicas. Es la razón que explica, que muy a pesar de su interés, Price trabaja en este proyecto prácticamente sin consultores.

El proyecto se desarrolla a escala territorial en un triángulo de aproximadamente 180 km de líneas de ferrocarril que discurre por un territorio fundamentalmente plano. Para garantizar la máxima viabilidad y movilidad, se usa la línea férrea existente. Esta cuestión es esencial, no sólo porque Price conocía detalladamente el territorio, sino porque lo convertía en un proyecto directo, real y sostenible. El Potteries no era un edificio sino una red interactiva, el esquema de un algoritmo de ordenación ejecutado desde un programa de ordenador. El programa y la configuración física del thinkbelt debían ser completamente fluidos, y capaz de adquirir configuraciones cambiantes. De-

bería poder dar servicio a al menos 20.000 estudiantes donde la enseñanza superior universitaria se trasladaba a las localizaciones de la industria pesada, utilizando el propio instrumento de la industria pesada, el ferrocarril. El proyecto se basaba en la rehabilitación de un terreno baldío en el centro del país debido al Clean Air Act de 1956 que había dejado inutilizada una considerable parte de la minería de la zona, y de la industria de la cerámica. Price conocía bien el terreno y es relevante el hecho de que se recicla la red física de líneas de infraestructura de ferrocarril que permite concebir el solar del proyecto en un área de 174 km cuadrados.

El sistema de raíles preexistentes se restaura para transportar de un punto a otro del territorio los distintos espacios educativos: viviendas, bibliotecas, fábrica o centro informático (ver Figura 3.44). Los nodos entre la red de ferrocarril y las rutas aéreas existentes se suplementaban con una nueva red de enlaces y “puntos de intercambio audiovisual electrónico” (ver Figura ??) (este punto es importante, marca el origen de uno de los diagramas de interconexión territoriales). La propuesta de Cedric Price para la infraestructura obsoleta y en desuso de Potteries era transformarla en un centro High-Tech educativo. Conocida como *Potteries Thinkbelt*, sería un nuevo tipo de universidad conformado, no por un edificio, sino por un circuito o red en el que laboratorios y clases circularían. Esta intervención ocuparía el triángulo formado por Pitts Hills, Madeley y Meir e integraría otros centros educacionales existentes como la Universidad de Keele. Las fábricas existentes se revitalizarían con usos vinculados al conocimiento y se crearían nuevos centros productivos dedicados a la investigación. De esta manera, el proyecto propone romper la rígida barrera que separa la innovación y la sociedad. El programa inicial no es un campus sino una *infraestructura* para la educación y el intercambio. Se diseñan a priori una serie de módulos móviles para ser usados como clases, laboratorios, o residencias. Esos módulos se desplazan en vagones por las líneas férreas y se agrupan en zonas de descarga y apropiación temporal que se convierten así en el nodo de actividad temporal, esta es la razón de que esta red tenga una serie de nodos con propiedades de objeto que son itinerantes y que se desplazan permanentemente por el territorio. en esa red de conexiones. Las únicas zonas semi-permanentes son las llamadas *Transfer Area*, tres zonas donde el conjunto de grúas puente iba recolocando como si se tratara de contenedores marítimos módulos especialmente diseñados para la enseñanza y el alojamiento. Son módulos bastante indeterminados y la riqueza espacial radica en las relaciones programa que se establecen entre ellos.

El modo en como se desarrolla la estructura es deudora de un sistema modular de luces uniformes en todas las direcciones del espacio. El diagrama de Pitts Hill *transfer area* muestra en planta y sección el mecanismo que debe adaptarse a una topografía lateral cuya cota de referencia es siempre la línea de ferrocarril.

Figura 3.43: Cedric Price. Esquema de montaje de las zonas intermedias)

Además de esas áreas se diseñan espacios docentes de distinto carácter que conforman una red de pequeñas infraestructuras docentes enlazadas : además las *aulas* específicas, se diseñan unas *Faculty Areas*, y una unidad aún menor denominada *Faculty sidings*, a módulos que eran desplazados e insertados en el ámbito de acción de las fábricas; de este modo, se acercaba una educación especializada al corazón de la producción industrial de la comarca, desde la convicción de que el acceso a la enseñanza debía ser universal (Nunca se denominó Universidad, para eludir encasillamientos en un programa demasiado cerrado y para vitar dicha denominación por considerarla “elitista”)

El núcleo más innovador del proyecto es el diseño de unidades realmente desplazables: que pudiera ser montables sobre un vagón de tren y cuya estructura funciona en secuencia. Price diseña seis tipos de unidades móviles ligeras con capacidad de desplazarse por la red. Algunas de ellas tenían un diseño definido y cerrado (con su propio motor de impulsión), por ejemplo el que contenía los centros de control con los computadores, y otros de diseño abierto desplegables, reminiscentes de aquellos primeros prototipos de vivienda móvil de sus años de estudiante. Price diseña para cada unidad, que estimaba debieran llegar a las 32.000 con sus elementos de baño, cocina y dormitorio hasta un nivel inusitado de detalle como se demuestra en la vivienda cápsula en la que los usuarios podían elegir los materiales.

Se trata de un inventario figurativo inédito de una gran diversidad, donde Price despliega toda su fuerza figurativa, aún a pesar de tratarse de elementos de base modular. Aquí plasma ciertas reminiscencias de su diseño de vivienda móvil a la que inserta elementos inflables.

3.2.3.4. Generator project con John y Julia Frazer

A lo largo de los siguientes años, Price amplía su espacio conceptual, no dejando nunca de incorporar conceptos cada vez más interesantes: el proyecto para Birmingham o el proyecto ATOM inician caminos paralelos sobre el mismo ámbito de investigación de la arquitectura abierta con capacidad generativa. 3.46

La maduración de sus prouestas arquitectónicas y su labor como docente, le van aproximando a un concepto sólido de *thinking machine* que culminará en la forma de ***Generator Project*** (Furtado, 2008) El nombre deriva de la propiedad de una entidad arquitectónica de crearse a sí misma mediante el aprendizaje de configuraciones.

El trabajo que se analiza a continuación se inicia en 1976 y es evolución del *Fun Palace* en cuanto al acercamiento de programación de software.

Tal y como sostiene Gonçalo Furtado, “Generator fue una obra maestra que rompió con los límites de la arquitectura de su tiempo.” cite Furtado 2008

Figura 3.44: Cedric Price. Potteries thinkbelt desde el tren de montaje (1964)

Figura 3.45: Cedric price. Potteries thinkbelt zona de alojamiento en batería (1964)

Figura 3.46: Cedric Price. Generator Project (1976)

El proyecto había sido encargado en 1976 por Howard Gilman para el solar de la Gilman Paper Corporation en la plantación White Oak en Florida para proporcionar un centro de visitantes de programa mixto que ofreciera alojamiento y actividad tanto a empleados como integrantes del mundo del teatro, la danza y artistas visitantes. Price propone un edificio que funciona como un sistema operativo para ordenar una serie de módulos en el espacio destinado a convertirse en “solar”, creando condiciones flexibles en un entorno socialmente favorable. El escenario natural contribuye al clima de inserción de un arquitectura reversible.

Este complejo proyecto, para el que se realizaron numerosos dibujos, esquemas y diagramas era esencialmente un sistema de elementos cúbicos que podían distribuirse y combinarse con otros tantos para crear estructuras temporales para espacios de ensayo, representación, alojamientos, en un enclave sin alterar.

Price desarrolla un proyecto de 150 cubos de 4 por 4 metros de lado que son recombinables, con cerramientos, accesos, pasarelas, pantallas y elementos de enganche para ser desplazados y ensamblados por una grúa según las instrucciones que los usuarios dictaban a un ordenador central. “Price ha diseñado una malla de dados de cimentación sobre los que se disponen con la ayuda de una grúa, nada más y nada menos, un gigantesco juego tipo Lego de piezas de cerramiento, pantallas, cubiertas, accesos y todos los servicios necesarios de comunicación y acondicionamiento” cit Deyan Sudjic, *Birth of the intelligent building* .

Figura 3.47: Cedric Price. Generator Project (1976)

Figura 3.48: Cedric Price. Maqueta preliminar para esquema de circuitos. Generator Project (1976)

Figura 3.49: Cedric price. Generator Project,

Los usuarios del mismo, podían decidir la ubicación de su unidad de alojamiento con la ayuda de un ordenador central con el cual era posible combinar cualquiera de esos 150 elementos del catálogo cubos elementales sobre los que se podía elegir a voluntad un tipo de cerramiento, de partición, de puerta de acceso y comunicaciones. 3.49 En la línea educativa del proyecto previo, el ordenador animaba al usuario a mejorar continuamente su reacción del diseño generado. De hecho, el factor cambio y libertad de expresión artística subyacen al programa esencial del *generator program*.

La puesta en obra de cada elemento en el conjunto, el ordenador recoloca en el solar las estructuras e instalaciones con ayuda de una grúa y ordenadores integrados en todos los elementos estructurales (ver Figura 3.48).

“A building which will not contradict, but enhance, the feeling of being in the middle of nowhere; has to be accessible to the public as well as to private guests; has to create a feeling of seclusion conducive to creative impulses, yet . . . accommodate audiences; has to respect the wildness of the environment while accommodating a grand piano; has to respect the continuity of the history of the place while being innovative” Cedric Price

El punto de partida de todo este proceso es el siguiente: Para determinar las distribuciones iniciales ¹³ se utilizaron herramientas de investigación sobre el programa: cuestionarios de actividades para los usuarios que además incorporaban requerimientos de uso (ver Figura 3.52). Para ello desarrolla un juego de tres clavijas que se mueven y definen itinerarios con hilos de colores. (un primer prototipo de interfaz)

Price contó desde 1978, tiempo después de trabajar en las ideas fundacionales del proyecto con el matrimonio Frazer y su equipo, en las esenciales tareas de programación. Los Frazer generaron una serie de algoritmos y programas y llevaron el proyecto un paso más allá. “Nos preocupaba que no se desarrollaran las posibilidades de flexibilidad del sistema. Que el edificio no cambiara de forma por desconocimiento de su propio potencial. Por eso sugerimos que el generator pudiera registrar su propio aburrimiento (inactividad) y proceder a sugerencias para su propia reorganización”. cite Furtado.

Para ser considerado inteligente, un sistema debe ser capaz de aprender de su entorno y desarrollar su propia habilidad de interactuar con el mismo. John Frazer, principal programador del software del proyecto, desarrolla las ideas de Price sobre que la arquitectura debería ser un elemento vivo, evolutivo. Cada uno de los componentes “se ajustaría a un circuito lógico y enganchado a un ordenador central” para permitir cambios rápidos de configuración. cite Frazer an evolutionary architecture.

La principal contribución de este trabajo radica en la cuestión de tratarse de un verdadero interfaz entre el usuario y el espacio que habría de

¹³menús de opciones como las denominaba ya Price anticipándose a su tiempo

alojarle. La puesta en escena del proyecto se inicia con la incorporación del usuario como agente de diseño. A la entrada del centro de visitantes un gran ordenador ofrece una carta de posibilidades para la distribución del espacio disponible. Los módulos de alojamiento se convierten en las unidades celulares básicas con las que se trabaja para establecer relaciones de contorno. Para cada visitante que acude, se reconfigura su módulo y el orden general sin deshacer las condiciones de contorno originales. Esto implicaba que hay una re-alimentación, permanentemente se redistribuía el espacio y la forma del centro.

El sistema incluía un sistema de autocorrección: este aspecto es esencial puesto que indica que el mecanismo de control del sistema procedía a aprender, evaluar, y tomar decisiones automáticas de modificar el lugar, sin la supervisión de un diseñador. cite Spiller 2000 Es decir, funciona como una entidad inteligente autónoma. A juicio del autor, Frazer otorga una relevancia muy amplia a la importancia del proyecto: “ideas importantes emergieron del GP: estas incluyen el concepto de inteligencia innata, el aprendizaje de la experiencia y el uso, el isomorfismo de la configuración del procesador y la cuestión de la consciencia” cite Frazer 1995 Este proyecto marca no sólo un hito en la carrera de Price de explorar una arquitectura tan absolutamente libre que carecía de forma, sino un hito en la incorporación de inteligencia artificial “ el tiempo y su gestión permiten a un espacio libre convertirse en una matriz de operaciones” cite Cedric Price Works II

Aunque Price ya había trabajado con equipos variados de consultores y colaboradores, esta colaboración llevó más allá de lo explorado en materia de cibernética, computación y electrónica, sentando las bases de una línea de investigación en al que se mantendrían involucrados toda una generación de arquitectos, investigadores y académicos. En la parte de discusión de este trabajo doctoral se describen esas líneas y el impacto en la arquitectura actual.

Hay que tener en cuenta que este proyecto tiene lugar una década por detrás del Fun Palace, y ya ha tenido lugar una considerable evolución de interfaces, dispositivos de dibujo y redes como mecanismos de comunicación en lugares como el MIT o empresas de comunicación. “Podemos hacer el edificio literalmente inteligente. Todo lo que tenemos que hacer es incorporar un microprocesador en cada parte del proyecto” así es como se llega al primer planteamiento.¹⁴

John Frazer había trabajado en un programa diseñado por él en sus años de estudiante de la Architectural Association “*Reptile structural System*” que generaba estructuras espaciales de poliedros regulares basado en una técnica de cultivo de células *seeding technique*. Ahí empieza a desarrollarse su interés por los procedimientos de optimización con raíces en la biología. Cuando en 1977 instalan su laboratorio de programación en la universidad

¹⁴ Carta de Frazer a Price enero de 1978. Entrevista de la autora a John Frazer, 2015

Figura 3.50: Cedric Price. Imagen. Generator Project (1976)

Figura 3.51: Cedric Price. Esquema de ubicación de unidades. Generator Project (1976)

del Ulster con máquinas Tektronics, ya están refinando una técnica inspirada en los autómatas celulares e introducen el concepto de modelado inteligente, están en una disposición magnífica para convertirse en los colaboradores que Price necesitaba.

Cuando los Frazer empiezan a trabajar en el proyecto sorprenden a Price y al cliente original con un radical planteamiento: desarrollarían seis programas en paralelo, cada uno de ellos para el mismo soporte físico del proyecto pero abarcando una función: el primero de orden interactivo arquitecto-máquina asistía el proceso de dibujo, el segundo de orden interactivo entre cliente-máquina era responsable de suministrar dibujos al operario de las grúas que colocaban los módulos. El tercero, generaba un inventario de opciones, la cuarta y la quinta daban forma a los procesos de datos en el lugar y finalmente, la más original, el sexto estaba destinado a “generar un sistema capaz de improvisar para superar el aburrimiento y el tedio del programa”

Esto resultaba particularmente audaz puesto que anticipaba la idea de de un complejo arquitectónico con vida propia y la inteligencia para ser interactivo y reactivo y además evolutivo. Se basaba fundamentalmente en la idea de autómatas celulares en especial en el aspecto de auto-réplica, Frazer definía un organismo vivo como aquel sistema de información con capacidad de auto-replicarse.

De modo que los Frazer desarrollaron finalmente cuatro programas que usaban como *inputs* las lecturas de sensores integrados en los componentes del Generator (ver Figura 3.53): un programa de dibujo, un programa de inventario de componentes, un interfaz de modelado y prototipaje, y el

Figura 3.52: John and Julia Frazer. Esquema generativo. Generator Project (1976)

programa de reconfiguración arquitectónica enriquecido con el componente “aburrimento”. *“en el caso de que el proyecto no fuera objeto de modificaciones durante cierto tiempo, los ordenadores comienzan a generar ordenaciones de planta y mejoras no solicitadas”* escribirían los John Frazer, Letter to Cedric Price (Frazer).

Aunque es Cedric Price quien suministra las condiciones geométricas sobre una retícula que es además el tablero de los circuitos ver la figura 3.51, las posibilidades de combinación de los módulos se obtienen de los programas descritos.

Hay aún otro aspecto esencial en el modo en que los programadores proponen hacer el sistema que consiste en poner a ejecutarse a todos los programas a la vez. Esto requería que se escribieran con un lenguaje de programación muy sencillo y que se ejecutaran al nivel de demostración en vez de programa perfeccionado. Esto es esencial, debido a que por un lado establece un mecanismo por el cual se pueden iniciar varios caminos a la vez (computación en paralelo, no secuencial que lo aligera y agiliza) lo cual genera muchas soluciones solapadas, y por otro, porque al ser demos y no trabajo terminado, permite no abandonar el grado de tentativa, de procedimiento abierto.

Los Frazer diseñan también la arquitectura de la máquina que genera el programa: el monitor del interfaz gráfico, los procesadores del intelligent system, una base con piezas electrónicas enchufadas, los microporcesadores de conexión real, la memoria y una impresora. 3.53

Figura 3.53: John and Julia Frazer. Procesador. Generator Project (1976)

Price definiría así en una carta de recomendación para Frazer: “Por lo general el diseño asistido por ordenador tanto aquí como al otro lado del Atlántico ha sido hasta ahora extremadamente limitado tanto en sus aplicaciones como en más grave aún, en el énfasis de su utilidad para el usuario (arquitecto o diseñador) hasta el punto de ignorar al cliente real que es el usuario del diseño. El procedimiento de Frazer seeding supera esta condición y gracias a un meticuloso análisis de la relación entre usuario y diseño y atina entrazar un futuro en el diseño y la producción de la arquitectura futura”cite Price 1980

Efectivamente, a lo largo de las décadas delos 80 y los 90 el Generator Project fue una fuente incesante de inspiración para arquitectos de todo el mundo, sentando las bases para una arquitecrura inteligente. También le sirvió a Price para abanderar una postura muy marcada de crítica a través de la tecnología.

Finalmente, una de las cuestiones más esenciales de GP es que exploró el impacto de de un nuevo orden tecno-cultural de la sociedad de la información en términos de diseño participativo y construcción reactiva. Es uno de los argumentos principales de esta tesis en la forma en que también lo relaciona con los otros dos autores analizados para este trabajo. Con el paso de los años, según iban proliferando los edificios inteligentes este proyecto “se mantuvo como referente contra el que muchos edificios inteligentes contemporáneos pueden medirse” cite Spiller 2002 El propio Frazer, que ha desarrollado a lo largo de más de 30 años su trabajo en una línea de investigación sobre complejidad , emergencia y procesos evolutivos abierta en esta época declaraba: “ Generator todavía tiene mucho que decir a aquellos que creen que la arquitectura debe servir a sus usuarios, y un nuevo modelo puede transmitir a una nueva generación que aún pueden realizar la visión que Cedric Price nos legó” cite Frazer 2003 the continuing relevance of generator.

3.2.3.5. ANALISIS. Sistema, Código y Proceso en Cedric Price

El **sistema** en Price es complejo de definir o identificar, o cuando menos, de construir como aparataje completo, como es, por contra el caso de Christopher Alexander. Su trabajo completo contribuye a la construcción de ese sistema arquitectónico asistido por las disciplinas periféricas.

El sistema de Price es abierto. En permanente cambio y evolución, esto repercute en que pueda alterar su marco conceptual o su propio sistema como modelo de trabajo. Es abierto desde dos puntos de vista: por un lado que puede incorporar cosas de fuera del sistema con lo que se va perfeccionando y depurando a lo largo de varias iteraciones. También es abierto con respecto

Figura 3.54: Cedric Price. Planta del proyecto Atom.

al proceso y con respecto al propio edificio. Cada uno de sus proyectos tiene ingredientes variables: usuario, actividad, programa y construcción pueden aparecer y desaparecer del mismo sin afectar a la coherencia general del mismo.

Dado que el espacio que propone es programable y computable. El sistema provee una infraestructura para ciertas actividades. Es un sistema que aprende del usuario

En su caso el sistema arquitectónico es más bien un sistema constructivo y está muy ligado a la producción industrial. Propicia una recuperación de un potencial propio de industria semi-pesada, en un entorno británico con reminiscencias de las artes y oficios. De su admiración por el trabajo de Fuller se destila una reverencia por el conocimiento material, por la puesta en obra industrializada, por los dibujos de montaje como de patente, y a tratar de las relaciones de la arquitectura como parte de un sistema superior que es el planeta.

Finalmente, el sistema que propone Cedric Price es aquel que incorpora el reciclaje, tanto en el proceso de construcción como en el sistema completo. Propone edificios que contemplan su propio desmontaje y reciclaje en otro lugar, en otro programa.

Código. La relevancia incuestionable de Cedric Price en el ámbito de este análisis, es su radical transformación de los códigos arquitectónicos vigentes.

Por un lado, convierte el diagrama en un verdadero documento generativo. Cada diagrama es una manera personal de codificar una información de orden dinámico, e incorporar instrucciones en un documento no disciplinar. En varios de sus proyectos como el Atom, o el Non Plan, los diagramas forman parte del conjunto de planos del proyecto de ejecución.

Se puede trazar la relevancia de ese nuevo código de instrumentos arquitectónicos en dos aspectos fundamentales. De una parte, su manera de

generar arquitectura cambia el papel del arquitecto, el colectivo que lo redacta, la gestión con el cliente, y la relación de con la tecnología y la industria. De otra parte, la forma de dibujar esa su arquitectura, rompe la convención de colección de instrucciones diédricas y transforma el dibujo en un registro de un proceso dinámico que tiene algunas características definidas. Las carpetas de proyectos parecen hojas de patentes y cada una es distinta a otros proyectos.

La valoración del dibujo en Cedric Price debe ser objeto de un análisis un poco más detenido. Por un lado, como herencia de los diagramas, son dibujos circuito: eficaces, sencillos, escuetos, sin concesiones a ornamentos, sombras ni cosas superfluas, más allá de las instrucciones estrictas. Cuando se dibujan sombrea es para describir un área de influencia del área de soleamiento de una construcción y las obstrucciones de sombras y circulaciones. Hay muchos dibujos en axonometría que remiten a lo constructivo. El uso de lo tridimensional tiene que ver con la visualización del proceso de montaje y es el documento que se utiliza principalmente para entender el sistema de modo completo en un espacio matemático que es lógicamente, tridimensional.

Los dibujos capturan y describen actividad. El uso de la perspectiva se ciñe a la percepción y experiencia del usuario. Los dibujos de dos dimensiones son para el arquitecto o el comité de expertos con un conocimiento del código. las visiones del operario de máquinas, del cliente que lo ve desde el cielo ??, del usuario de un teatro en el Fun Palace. Son imágenes que incorporan color.

Los dibujos denotan una clara inclinación por la transparencia. Enlaza con el concepto de que la arquitectura puede ser pasajera, temporal, reconfigurable, considerada con el entorno y reversible. Los encuadres son en esa línea, sobre todo en Potteries Thinkbelt y Generator, contienen siempre un plano de naturaleza.3.55

Superpone una fotografía con dibujo a línea de lo que él propone. Se aprecia que él propone algo que dialoga bien, que indica actividad, y que puede borrarse del entorno como quien despega una capa del dibujo. Su arquitectura se desvanece. Ofrece una materia que no bloquea un paisaje que se posa en él y permite ver a través de su materialidad.

Dibujos de actividad (en esto se parece a Fuller aunque es muchísimo más explícito) Los dibujos del Madeley transfer area, como se muestra en la imagen3.56, muestran un paisaje transparente donde se superponen las fotos del lugar y el dibujo de artefactos en pleno proceso de acción. Dibujos escuetos y transparentes o diagramáticos. No hay si una sola concesión ornamental.3.57

Muy notables son los dibujos del Generator project, en una extensa colección recogida en el archivo de Cedric Price, y la maqueta-dibujo que es un circuito síntesis absolutamente abstracto, donde se deshacen las nociones de escala y se sustituyen por relaciones. es el primer documento multiescala o

Figura 3.55: Cedric Price. Dibujo de plano de transparencia en el solar. Generator Project (1976)

Figura 3.56: Cedric Price. Imagen del proyecto superpuesto en el árido paisaje de la comarca (1964)

Figura 3.57: Cedric Price. Planta de usos del Fun Palace (1961)

mapa paramétrico conocido aplicable a un proyecto arquitectónico como tal. Los dibujos ofrecen una transparencia literal al tiempo que fenomenológica, que propicia y se origina en la participación. Eso se traslada a sus dibujos que son espacios razonablemente líquidos donde se expresa una arquitectura que no bloquea, que se superpone al paisaje existente y que no lo altera de modo irreversible.

En el otro espectro de notación arquitectónica, hace un uso extensivo de la perspectiva para capturar el acontecimiento frente a una proyección diédrica de plantas y secciones. Los diagramas son generadores de posibilidades de distribución, lo cual también sintetiza y convierte un dibujo arquitectónico en un listado de código para implementar el espacio. Lo curioso de la cuestión es que los documentos constructivos están allí explicitados.

Parece que los dibujos quieran mostrar un proceso que es reversible. la escala: maneja todas las escalas, que están presentes en los documentos; sus proyectos, por pequeños que sean, siempre anhelan trascender sus limitaciones espaciales; por aquello de que son abiertos y evolucionan en el tiempo; contienen una curiosa resonancia territorial. El dibujo aquí se convierte en un circuito de procesos, cada vez más abstracto y alejado de la convención de representación canónica. Se trata de un tablero de actividad dibujado literalmente como un juego de mesa. En el código gráfico están implícitas las propias reglas de funcionamiento del sistema, que establece unas relaciones espaciales y de escala muy próximas a herramientas que ahora mismo manejamos los arquitectos pero claramente pioneras a su tiempo.

Los conjuntos de documentos para los planos de cada proyecto son instrucciones. Rompe con la convención e incorpora una serie de documentos generativos. De ahí deriva que los dibujos estrictamente arquitectónicos con dimensiones en verdadera magnitud sean decididamente escuetos.

Incorpora documentos dinámicos, por ejemplo documentos de esquemas

Figura 3.58: Cedric Price. Education Kit.

de montaje, de fases de intervención y de instrucciones de operadores en obra. Esto es inédito. Está contando el proceso completo y también el método constructivo en el dibujo, que pasa a codificar todo el proceso.

Finalmente hay una reflexión sobre los textos de Price. De entrada su modo de nombrar, etiquetar los proyectos, que parten de los headlines de los tabloids, y siempre encierran una suficiente dosis de ironía. etiqueta sus proyectos dotando de carácter a los propios espacios y el entorno filosófico en que se desarrollan.

En Cedric Price el **proceso** es el propio proyecto. De nuevo dependiente del concepto de indeterminación, re-programación, y obsolescencia.

Condicionado por el recuerdo de la guerra y la convicción de que el futuro de Gran Bretaña no podía anticiparse, resultaba contradictorio plantear arquitecturas inalterables y sempiternas. La necesidad al tiempo que la esperanza de trabajar desde la condición de lo mutable dictan muchos de los principios de su arquitectura.

El proceso es claramente no lineal, puesto que está sujeto a una variada intervención de agentes, atributo cualitativo básico desde el punto de vista de la participación, el aprendizaje y el paso del tiempo.^{3.58}

En los proyectos de Cedric Price nunca hay una referencia clara de la forma terminada de un edificio. No habla de figuración, sino de (con)figuración, que emana de que el proceso tiene distintas etapas prolongándose en el tiempo. Ese paso del tiempo implica que el proceso se dilata durante la fase de diseño pero esencialmente durante la fase de uso, difícil de establecer.

Por esta razón en Price primaba el tiempo sobre todo lo demás puesto

que consideraba que era el verdadero parámetro con el que trabajar como arquitecto. Introduce datos climáticos para ordenar sus espacios. Por ejemplo “casa” supone una proposición ambigua puesto que depende de múltiples factores temporales que llevan el centro de gravedad del objeto al acontecimiento.

Incorpora una acepción muy innovadora concepto de reciclaje, puesto que lo dirige a varios frentes: al uso, al material, al lugar; el ejemplo paradigmático lo encontramos en especial plasmado en el Potteries Thinkbelt.

Siempre creyó en la capacidad transformativa de la arquitectura para la sociedad. El caso del thinkbelt al igual que Generator también transforma el paisaje y la relación de la ciudad estableciendo escalas hasta ese momento inéditas escalas intermedias, entre edificio y ciudad.

3.59

...el diagrama que aparece en el Apéndice D.

Figura 3.59: Cedric Price: Noción de Sistema, Código y Proceso. (Paula Montoya)

Capítulo 4

DISCUSIÓN: Crítica de los autores y sus Modelos

Como inicio a este capítulo, se procede a describir pormenorizadamente en qué consiste la **Metodología de Triangulación**, y la pertinencia de su empleo en el análisis crítico de los tres autores principales de esta tesis. Tal y como se indicaba en la introducción, la razón de proceder al análisis crítico responde a anticipar algunas de las conclusiones de este trabajo doctoral, y de establecer la raíces de la evolución disciplinar de nuestros días. Permite también incorporar al mismo análisis a los autores de enlace que han dado cauce a dicha evolución.

Para autores como Max Weber las ciencias sociales actúan por vía de la comprensión y las ciencias naturales por la explicación; los dos procedimientos si bien distintos, no son excluyentes. El análisis causal de las ciencias sociales está guiado por un interés muy concreto: la determinación de la causa será objetiva aunque el interés que motiva la investigación sea subjetivo. Como principal exponente del *antipositivismo*, Weber rechaza el empirismo o el método científico estricto en investigación, descartando el análisis cuantitativo en favor del cualitativo. Si bien desde una posición positivista se contrasta de modo empírico a través de experimentos y muestreos estadísticos, él recurre a métodos de investigación que se basan en los análisis no estructurados o la observación y comparación crítica del participante.

El progreso de las ciencias sociales a lo largo de la historia ha puesto de manifiesto que ningún método de investigación es superior a otro (Denzin, 1970). Al mismo tiempo, el análisis de una realidad cada vez más facetada ha revelado la necesidad de combinar distintas técnicas de indagación para lograr hallazgos complementarios y desarrollar el conocimiento relativo a un determinado objeto de estudio. A este proceso de combinación se le denomina *Triangulación*.

Se definen cuatro tipos básicos de triangulación: *triangulación de datos* con tres subtipos tiempo, espacio y persona (el análisis de persona, tiene

tres niveles: agregado, interactivo y colectivo); *triangulación de investigador* que consiste en el uso de múltiples observadores, más que observadores singulares de un mismo objeto; *triangulación teórica* que consiste en el uso de múltiples perspectivas, más que de perspectivas singulares en relación con el mismo set de objetos y finalmente, *triangulación metodológica* que puede implicar triangulación dentro de métodos (intra-métodos) y triangulaciones entre métodos (inter-métodos).

Para este análisis se ha empleado la triangulación metodológica que combina múltiples métodos en un estudio del mismo objeto o evento para abordar mejor el fenómeno que se investiga. Implica el uso de al menos dos métodos, usualmente cualitativo y cuantitativo para direccionar el mismo problema de investigación. En el caso de aplicación en este trabajo doctoral, es debido a que lo que se estudia es una noción inequívocamente cualitativa: cuyas características de investigación implican: 1) el concepto bajo estudio está indefinido por no haberse expuesto a una teoría previa 2) la teoría disponible puede ser inapropiada, o sesgada; 3) existe una necesidad de explorar y describir el fenómeno y de desarrollar teoría o 4) la naturaleza del fenómeno no es apropiada para mediciones cuantitativas.

Por esta razón se aplica el método inter-métodos, secuencial (de los autores por separado y de los autores tomados por pares) con orden inductivo (*qual a quan*), que en sociología viene determinado por el modo en que infiere el aspecto cualitativo en el cuantitativo. En esta triangulación entre métodos su característica básica es la combinación de dos o más disímiles en el estudio de una misma unidad empírica, en este caso, un concepto arquitectónico.

En la búsqueda de establecer criterios claros a la hora de utilizar la Triangulación como estrategia de investigación G. Duncan Mitchell subraya cuatro principios que pueden ser aplicados cuidadosamente para maximizar la validez de un estudio: 1) la pregunta de investigación tiene que ser claramente focalizada, 2) la robustez y debilidad de cada método escogido deben complementar el otro, 3) los métodos deben ser seleccionados de acuerdo con su relevancia para la naturaleza del fenómeno bajo estudio y 4) debe hacerse una evaluación continua del método escogido durante el curso de la investigación para monitorizar si se están siguiendo o no los tres principios anteriores.

La pertinencia de la aplicación de este método en el análisis de Arquitectura viene motivado por dos razones: por un lado, por la utilidad del método en la comparación de tres modelos arquitectónicos al tiempo teóricos y prácticos, limitando el sesgo en el análisis. Por otro lado, por la intrínseca condición de ciencia social de la arquitectura, que trata con sistemas que ya se han declarado complejos.

Su origen remoto está en el principio básico de la geometría según el cual distintos puntos de vista permiten una mayor precisión en la observación. El término triangulación en geometría es definido usualmente de dos formas: en

primer lugar, como la división de un área en triángulos a efectos de medición de un terreno; en segundo lugar como la verificación, medición y representación de un área mediante el uso de triángulos con tres parámetros conocidos (por ejemplo, base, altura y ángulos).¹

Más allá de la analogía matemática, en la presente tesis se ha implementado la triangulación metodológica en el capítulo de la discusión, motivado por la necesidad de ordenar la comparación de aspectos conceptuales que desarrollan los tres autores. Sirve al propósito de desarrollar un mecanismo directo de análisis por contraste de ciertas nociones a las que cada arquitecto se enfrenta de manera diferente.

Dada la naturaleza del objeto de estudio no es posible someterlo a análisis cuantitativo o estadístico. Por ese motivo en la búsqueda de definir los principios, potencialidades, alcances, avances y limitaciones de Alexander, Negroponte y Price, se han tomado como referencia las metodologías que se centran en lo cualitativo.

Dado que la intención de este epígrafe es presentar la afinidad o conflicto entre los autores, se identifica en primer lugar el propósito de análisis, para luego elegir el método y técnicas más eficaces de aproximación. Este propósito se compone de: la definición del objeto de diseño de la arquitectura (con especial relevancia de la cuestión urbana), la manipulación de la forma, la actitud ante la técnica constructiva y la noción de *participación*.

Como método de comparación estructurado provee fortalezas como creatividad, flexibilidad y profundidad en la recolección y en el análisis de datos o teorías. En este contexto se admite que los métodos no verifican, sino que aportan instrumentos para armar una teoría. La triangulación no pretende incrementar la validez de un modelo arquitectónico sobre otro, sino contribuir a diversificar la interpretación. El vértice de la discusión en este análisis sobre diferentes modos de aproximarse a un mismo problema arquitectónico es la combinación de métodos y hallazgos en el seno de un mismo proyecto de transformación de la disciplina.

Se procede a continuación a un análisis crítico de la relevancia de cada uno de los autores, tanto de manera particular como de manera comparada; es éste un ejercicio preparatorio de apertura de caminos conceptuales del último apartado de la tesis.

En la introducción de este texto, se justifican las razones de la elección de los autores que se han estudiado. La más importante se refiere a su capacidad para articular a través de su trayectoria una filosofía completa con resonancia en su arquitectura y en la arquitectura de otros autores.

Una consideración necesaria es la razón de la elección del término *modelo*.

¹Tal y como comenta Oppermann (2000) La utilización universal del término es cuestionable, pudiendo crear una falsa sensación de rigor científico y exactitud, cuando se trata de un método cualitativo. Es por ello necesario la delimitación estricta de su uso en aspectos que sean también en suficiente medida cuantificables

Es relevante anotar que alude a la condición diversa y amplia del trabajo de cada uno de los autores en este estudio comparado. Cada uno de ellos propone realmente un modelo puesto que no se trata de conceptos aislados en proyectos o escritos, sino que su filosofía puede identificarse a lo largo de una trayectoria completa que constituye un modelo consistente.

Así como el trabajo de Alexander es valorado fundamentalmente por sus contribuciones de carácter teórico y su influencia en el campo de un concepto de estructura gramatical que pudiera refundar el método de hacer arquitectura. En una clave muy distinta, Negroponte transformando el escenario de trabajo del arquitecto y contribuyendo con la invención de una modelo instrumental que utilizamos hoy y que no admite vuelta atrás. Por su parte Cedric Price, el arquitecto de más relevancia intrínsecamente disciplinar desarrolla un modelo innovador, creativo, conceptualmente revolucionario con una repercusión innegable en otros arquitectos, en una nueva figuración, un novedoso lenguaje figurativo y unas consecuencias fundamentales en la arquitectura de nuestros días.

La condición conectiva de este texto permite incorporar una serie de autores o conceptos de enlace entre los modelos a estudio. Su cometido es matizar el campo conceptual generado por los arquitectos referidos. Se establece esa relación en significación y en forma, proporcionando un recurso gramatical enriquecido a dicho análisis. A esos argumentos se les denominado *predicados*.

Aunque no es un método muy recurrente en esta tesis sí procede en este momento recurrir a las acepciones precisas del término que viene al auxilio de explicar la razón de su elección.

predicado. 1. Del participio de *predicar* m. Fil. En lógica aquello que se afirma del sujeto en una proposición. m. Ling. Parte de la oración gramatical en la que se dice o se predica algo del sujeto; es un sintagma que está formado por un verbo, que es el núcleo, y unos complementos.

El hecho de que remite al verbo acrecienta el interés del uso del mismo puesto que incorpora un significado generativo y dinámico al sujeto que en este caso, es sustituido por el *modelo*.

4.1. Significación de Christopher Alexander

Un valor innegable de Christopher Alexander es su actitud compiladora de saberes, analítica al tiempo que creativa puesto que aplica toda su lógica en la consecución de un espacio bello y conveniente. Reside el interés en idear un procedimiento donde combina dos procedimientos aparentemente contrarios.

En un planteamiento que podemos relacionar con dos modos de trabajo de la inteligencia artificial por un lado el acercamiento que tiene que ver con el *Procesamiento basado en el conocimiento* o *Knowledge Based Reaso-*

ning que consiste en describir previamente un conjunto de elementos y las reglas que los relacionan, que puestos a trabajar en múltiples ejemplos acaban por estructurar un lenguaje. por otro lado, el acercamiento denominado *Lingüística basada en corpus* o *Corpus based approach*, que parte de la idea contraria; de una compilación de gran cantidad de elementos o datos, deducir las relaciones para describir las reglas.

Un primer análisis conduce a concluir que su planteamiento es excesivamente *formal*²; es decir, traslada las decisiones de diseño a una estructura de pensamiento codificada según un lenguaje netamente matemático relegando a un segundo plano la especificidad del espacio arquitectónico que sólo emerge como adaptación a un determinado entorno.

El lenguaje de patrones es un proceso generativo de elementos, de atributos y de vínculos, en aplicación directa de un “pensamiento de conjuntos”. La forma del espacio que resulta de ese proceso está determinado en primera instancia por esos vínculos. En el caso de Alexander, queda probado que el interés como mecanismo generativo, atraviesa toda su obra de manera transversal.

La condición radicalmente innovadora de este planteamiento es que Alexander ya propone trabajar desde las propiedades del espacio, no así su morfología ni su materialización. Por esa razón es conveniente considerar familias de soluciones descartando un método de solución única, por óptima que esta pudiera ser. La especificidad se alcanza cuando tiene lugar la inserción del objeto arquitectónico en un contexto real. En última instancia el lenguaje debe ayudar a entender los objetos no como objetos en sí sino como elementos de interacción humana (Alexander et al., 1977)

Otra consideración del valor intrínseco del modelo de Alexander es que puede identificarse una visión reparadora en el lenguaje de patrones que anticipa actitudes que pueden recocerse en autores posteriores como Michel Serres: Alexander establece que no hay patrones aislados: cada patrón existe en el mundo sólo porque está sustentado por sus vínculos con otros patrones a distintas escalas. Es una construcción fundamental del mundo: implica que cuando se construye una cosa, no se puede construir algo de manera aislada, sino que se debe “reparar” el mundo alrededor y contenido en él. De este modo el mundo en ese punto adquiere más equilibrio y coherencia, y lo que se construye ocupa su lugar en la red de la naturaleza.

Alexander criticó a los que irreflexivamente se lanzaban a la aplicación de la herramienta como un fin en sí mismo. En su famoso ensayo *A much asked Question about Computers and Design* recogido en las Actas del Congreso, advierte que la pregunta “¿Cómo podemos aplicar la informática a la arquitectura?: es peligrosa, ingenua y tonta (...) puesto que esta mecánica en realidad puede impedirnos llegar a ese entendimiento conceptual, y de ver los

²Formal desde el punto de vista matemático que implica el articular una estructura lógica a cualquier elemento proveniente de una estructura

problemas como son en realidad” Este pronunciamiento, de hace cincuenta años, remite a la obsesión de ciertos arquitectos por utilizar herramientas novedosas, abogando en cambio por la necesidad de limitarse a pensar a través y en profundidad cualquier diseño dado “problema” antes de intentar calcularlo mecánicamente.

“Ese esfuerzo para enfocar un problema de tal manera que un computador pueda resolverlo, deforma nuestra visión del problema. Nos permite considerar únicamente aquellos aspectos del problema que pueden ser codificados” Es relevante destacar que Alexander distingue entre su temor hacia los que muestran demasiado interés hacia los computadores y su temor, mucho más extendido, por los diseñadores que proclaman sin razonar que el computador destruye la intuición y la creatividad y que no puede reemplazarlos. “Aquellos que temen el computador en sí son invariablemente los mismos que consideran el diseño como una oportunidad de expresión personal. Para éstos, el computador es una amenaza porque llama la atención sobre el hecho de que el diseño más intuitivo no es más que una manifestación de los secretos personales en formas plásticas”.

El computador en Alexander es un mero facilitador, una máquina de calcular sofisticada. Pero nunca consideró que la estructura de ordenamiento lógico de los ordenadores le permitieran incorporar otro tipo de procesos de orden generativo. (quizás se encuentren él y Price en el empeño de hacer de estos modelos la apoyatura conceptual e instrumental para un diseño netamente sostenible)

De este modo, expresa su interés en el instrumento pero que en todo caso supedita a cualquier otra dinámica de su propio modelo.

De hecho, el lenguaje de patrones, que sigue estando vigente por ejemplo en los planes de diseño del campus de Oregón, no precisan de las capacidades generativas del ordenador. Es un método que puede ejecutarse de manera manual. Su relevancia no está en incorporar procesos de computación sino en aplicar un método de diseño perfectamente analógico. Incorpora el uso de los computadores, en tanto una herramienta, siempre relegada a un estricto y meticuloso conocimiento de los parámetros completos de un diseño : “El computador es un instrumento. Es un invento maravilloso, casi milagroso. Cuanto más comprendamos la naturaleza compleja de la forma y la naturaleza compleja de la función, más necesitaremos la ayuda del computador cuando decidamos crear una forma”

Otro de los aspectos relevantes en el modelo de Christopher Alexander es el que con respecto a Price o Negroponte es el que más relevancia le concede al diseño de ciudad, que articula su trabajo completo.

En el párrafo inicial de lenguaje de Patrones, Alexander argumenta que la motivación del mismo, apoyada en una necesidad incuestionable del arquitecto de atender las necesidades del usuario es generar un lenguaje común de patrones óptimos para el diseño de edificios y ciudades, sin hacer distin-

ción escalar. Este planteamiento integrador del diseño arquitectónico no está exento de modernidad, porque elude claramente las taxonomías arquitectónicas clásicas.

Su relación con los usuarios están vinculados al modo gregario y social de habitación y de configuración de asentamientos humanos y es por ello que el diseño del espacio recorre transversalmente desde la habitación al territorio.

Además de ejercer una feroz crítica y desmontaje intelectual del modelo de urbanismo del Movimiento Moderno, para abundar la ausencia lógica de los arquitectos racionalistas resolviendo en términos mecánicos el establecimiento del programa arquitectónico.

Por ejemplo, critica la necesidad acuciante de segregar usos; dice: “otro concepto favorito de los teóricos del Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM) y otros es el de separar el recreo de todo lo demás. Esto ha cristalizado en nuestras ciudades reales bajo la forma de los patios de juego o parques infantiles. Estos patios de juego, asfaltados y cercados, no son más que un reconocimiento plástico del hecho de que el juego existe como un concepto aislado en nuestras mentes. No tiene conexión con la vida del juego propiamente dicha. El juego mismo, el juego que los chicos practican, es diferente cada día. Un día puede desarrollarse a cubierto, otro día en una simpática estación de servicio, otro en un edificio abandonado, otro en la orilla del río, otro en una obra en construcción paralizada durante el fin de semana. Cada uno de estos juegos, y los objetos que requieren, forman un sistema. No es verdad que estos sistemas existan separados, aislados de los otros sistemas que componen la ciudad. Los diversos sistemas se superponen unos a otros y además se superponen a muchos otros sistemas. Las unidades, los lugares físicos reconocidos como lugares de juego, deben hacer lo mismo”. (la ciudad no es un árbol)

La esencia crítica a los modelos del movimiento moderno es que en su diseño urbano ignoran deliberadamente el contexto, primando el territorio a la creación de objetos singulares. Si se lleva la reflexión más allá, es pertinente la pregunta de qué forma tiene una ciudad que no es un árbol. Las propuestas posteriores de varios autores a partir de los años 80 han intentado dar respuesta a esta cuestión.³.

Es por ello que el análisis del experimento Oregon, su gran campo de experimentación del lenguaje de patrones sobre una escala urbana, suscita varias consideraciones:

Es un experimento en el tiempo supuestamente basado en la participación. Es cierto que en los *guide-lines* de los procedimientos de planificación del campus que aún hoy siguen imperando, los mismos patrones de su trata-

³Véase en el capítulo de antecedentes una serie de referencias importantes para la discusión: las estrategias de proyecto basadas en diagramas dinámicos en Tchumi, Eisenmann y Koolhaas

do de 1977. De manera nominal está implícita la participación ⁴ pero no es posible olvidar, que el inventario o menú de patrones disponible para aplicar al diseño está muy claramente marcado como un estricto y limitado código de reglas y objetos que pueden utilizarse.

A lo largo de los cuarenta años de desarrollo del experimento, nada se hacía en el campus que no pasara el filtro de la agencia de planificación aplicada de patrones. Del análisis de ciertas iniciativas que se han ido implementando a lo largo de ese tiempo, parece que lo más relevante no es la construcción de edificios, en sí sino la calidad del espacio conjuntivo del conjunto. Lo único experimento reseñable es, curiosamente la cúpula geodésica instalada en el campus en 1953 tantos, como un objeto alienígena depositado en el campus que podía quizá encajar en alguno de los patrones de relación social (ver street coffee) que poco tenía de adaptativo al lenguaje de patrones.

Hay una deriva a lo largo de sus cuarenta años de ejercicio profesional, el legado arquitectónico de Christopher Alexander ha discurrido por un camino paralelo no reseñable, que rara vez ha destacado en ejemplos contruidos de especial relevancia. Esa es la razón por la que la trascendencia del arquitecto se ciñe casi exclusivamente a su producción teórica.

En años recientes ha derivado a la estructuración de sistemas completos tal y como los concibe Alexander son, consecuentemente sostenibles (The Nature of Order 2003). En este orden de sistema completo muy orientado ya a los sistemas naturales se basa en dos algoritmos *algorithmic sustainable design*:

La escala es una cuestión importante para Alexander es la propiedad que conecta tamaños, y es la responsable de la función de tejer una propiedad que es recurrente en cualquier tamaño del sistema y que resiste a cualquier cambio introducido en el sistema. Varios son los mecanismos de implementar el desarrollo de una solución arquitectónica, que reorienta el pensamiento y el diseño donde sustituye el pensar en piezas aisladas por el pensamiento en escala.

PREDICADO 1

Transformaciones para generar sistemas completos a través de cinco pasos 1.secuencial 2.reversible 3.que mantiene la estructura 4.diseñar desde la debilidad 5.generar algo nuevo a partir de lo existente

La verdadera relevancia de Alexander es que es el arquitecto más transitorio de los analizados. Sus teorías fueron adoptadas por la computación dada la estructura lógica y gráfica de unas propiedades cuyo uso en establecer relaciones de estructuras de conocimiento aptas para la ingeniería del software supone un camino de expansión de la metáfora del espacio relacional

⁴Tal y como se puede comprobar en los formularios descargables de la página Webb de la Institución, los planificadores junto con el usuario, deben formar comités y ponerse de acuerdo para qué programa es necesario desarrollar y el modo de hacerlo. www.oregonuniversity

humano.

Según la regla universal de distribución de tamaños cuanto más pequeños son los elementos en un sistema complejo, más cantidad de relaciones se establecen. Esta relación directa entre tamaño y multiplicidad está gobernada por los fractales (o ley inversa de escalar, autosemejanza) por la que se rigen la mayoría de los sistemas naturales y artificiales. Esto incluye a las redes neuronales, el sistema circulatorio, sistemas de distribución eléctrica, la world wide web y otros muchos.

En su conferencia de 1996 en la ACM Conference on Object-Oriented Programs, Systems, Languages and Applications, en SJ California, cite Alexander refleja en el uso de sus ideas en software participativo que han transformado la computación orientado a objetos y como la disciplina de los patrones recuperó el pensamiento de sistemas y una perspectiva humana en el diseño de la arquitectura de software.

La trascendencia en las ciencias de la computación de los patrones es que éstos son “vehículos de comunicación” para discutir, compartir, y modificar estructuras de datos pero sin embargo, no se utilizan para lo que fueron concebidos en origen. El uso en ingeniería del software difiere de los aplicables a la arquitectura cuyos patrones tienen una actitud ética, una evolución coherente y apuntan a un sistema completo generativo. El objetivo arquitectónico es construir un entorno adecuado y una estructura de alojamiento que mejoraran la vida humana.

Crítica: William Saunders califica el lenguaje de patrones como utópico, iluso, fragmentario, aditivo estructuralista, autoritario, y tiránico aún declarando su respeto por la entusiasta y viva e informadas intuiciones descubiertas en el libro. cite Saunders, William 2002. book reviews: a pattern language. Harvard Design Magazine

4.2. Significación de Nicholas Negroponte

Gobernado por su particular fascinación por la técnica, Negroponte confía en que la comunicación entre hombre y máquina es la quintaesencia de la evolución en todos los frentes, en especial en la dimensión social e intelectual.

Aunque Negroponte nunca plantea una crítica feroz al modelo arquitectónico imperante, su manifiesto transformativo está implícito en cada uno de los experimentos y su modo de fijar los resultados, en las herramientas que diseña. Tal y como se ha podido comprobar de la descripción de sus escritos, su *modus operandi* se basa en la identificación de cuestiones instrumentales de dibujo y hacer de ellas una oportunidad. Su modelo es claramente posibilista, de un modo muy anglosajón, según el cual, se llega a la reflexión filosófica tras la práctica. Y existe un importante campo de experimentación del aprendizaje basado en la propia indagación.

Su pronunciamiento se establece sobre la tecnología como vehículo ne-

cesario que posibilita la emancipación de la Arquitectura de ciertos planteamientos caducos, en especial en lo instrumental. Puede reconocerse un punto de partida basado en el desarrollo del lenguaje. El hecho de dominar el lenguaje es dominar la estructura de pensamiento que desencadena la creatividad.⁵

Negroponte aporta una visión genuinamente original, puesto que incorpora el concepto de Inteligencia Artificial al diseño de la Arquitectura. No inventa un lenguaje o unas reglas complejas que aplicar al diseño, recurre a la generación de herramientas; a la invención de máquinas capaces de interactuar con la inteligencia creativa humana. Nunca habla de sustitución y elabora una dinámica especular donde mirar la realidad desde fuera da las claves para observar cómo son los mecanismos humanos.

Recupera e interpreta los principios básicos de la inteligencia artificial de segunda generación: no reproduce un “comportamiento inteligente” de manera artificial sino que aprende los procesos que denotan inteligencia por observación e imitación continuada de los procesos naturales. Hay que tener en cuenta que en los años setenta, no había una clara delimitación entre cibernética e inteligencia artificial, que son dos ramas de la computación marcadamente distintas puesto que tienen aproximaciones muy diferentes sobre lo que debe ser la relación hombre-máquina.

Los proyectos Soft Architecture Machine y SEEK comparten dominio cuando se trata de definir la función de la máquina; la fascinante posibilidad de implementar un sistema que puede observar, aprender y anticipar el comportamiento del individuo, se combina con la capacidad de reconciliar lo local con lo global. “Lo que es único en el caso de las Soft architecture machines es que son el resultado de una fertilización cruzada de las visiones de la edad de oro de la Inteligencia Artificial del MIT y las ideas vibrantes de Cibernética, con influencias europeas, es decir, el trabajo de los “excéntricos” Yona Friedman y Gordon Pask.”⁶

PREDICADO 2

Una pregunta subyace a muchos de los experimentos que Negroponte mantenía permanentemente en ejecución; la cuestión de cuál es la relevancia del arquitecto en el proceso de diseño; propiciar la comunicación, o el espacio arquitectónico donde esta se desarrolla. Es la tarea programar un espacio o diseñar un espacio programable.

Sobre la premisa de trabajar con varios proyectos de manera simultánea, Negroponte organiza un sistema de máquinas de hacer arquitectura. Un aspecto crítico de análisis reside en su no interés por el espacio arquitectónico puro sacrificado en aras de un espacio de perpetuo laboratorio. Desaparecen

⁵ En Keen, Andrew *The cult of the amateur*, se analizan las dinámicas de inserción de conocimiento por parte de no expertos que contribuyen a difundir y editar el conocimiento sin elementos de evaluación conocidos.

⁶ Vardouli, Theodora, in an interview with Nicholas Negroponte, Openarchitecture

las nociones de jerarquía y se deshace el concepto de autoría.

Esquema de funcionamiento del MIT media lab, sobre lo que hemos podido vislumbrar en la visita de diciembre de proyectos basados en la relación del experto y el usuario con la mediación de la inteligencia artificial. Combina espacio individual y colectivo sobre la base de que se trata de distintos niveles de comunicación.

El grupo de trabajo, sostiene que si los hogares están conectados por redes de información como el teléfono o las redes de ordenadores, los individuos son también capaces de comunicarse con un sistema de generación arquitectónica sobre los parámetros elegidos en el diseño de su casa. Esto marcará una línea de investigación de orden doméstico, tratando el diseño de dispositivos y muebles como proyecto desarrollado dentro del Media Lab que se prolongaría a lo largo de varias décadas.⁷

A lo largo de la carrera investigadora de Negroponte encontramos una deriva del procedimiento: frente a un primer acercamiento desde la idea de generar un mecanismo “capaz de suplir” se deriva poco a poco hacia experimentos tentativos de intercambio con la máquina, no de mera utilización como herramienta. Está basado en **acuerdo**, en la identificación de una oportunidad de trabajo y la creación de una herramienta para llevarlo a cabo.

es muy de valorar la convicción en que la herramienta hace posible ese acuerdo y el esfuerzo se destina en dos direcciones: por un lado en la elección de buenas oportunidades y por otro un esfuerzo desmedido en habilitar una nueva herramienta a cada experimento. Esta cuestión es única en el entorno arquitectónico.

Retoma esta consideración al visión de la Tecnología como *mediadora*... esto es un concepto que hay que desarrollar bien porque es muy profundo y porque enlaza con un discurso muy contemporáneo de Latour y Mumford. Aunque en el capítulo referente a Negroponte se ha explicado so concepto de mediador, el campo sintáctico ha sobrepasado el semántico. La herramienta legítima, da sentido al trabajo del arquitecto. Una de las fuentes que le permiten establecer enlaces fuera de su laboratorio es su relación con el mundo conceptual y arquitectónico de Yona Friedman. Negroponte había trabado estrecha amistad con Yona Friedman y su esposa, a quienES conoció durante una de sus estancias en los Estados Unidos. En ese momento Yona Friedman ya había escrito el "Hacia una Arquitectura científica z se había propuesto la idea de la *Flatwriter*, como instrumento de planificación que combinaba la participación de los usuarios con la auto-reflexión. Parece que en ese momento el pensamiento sistemático de Friedman y su discusión sobre la democratización de la arquitectura a través de la tecnología cumplen uno de los principios fundamentales que han caracterizado sistemáticamente la

⁷ El proyecto Hyperhabitat y otros de la división.... predicen la cuestión del diseño de elementos de orden próximo

obra de Nicholas Negroponte desde sus primeros días de la era actual.

En *Intentionalities* y *Computer Aided Participatory Design* dentro de *Soft Architecture Machines*, 1975 Negroponte profundiza sobre el concepto de arquitectura tradicional como modelo. Algunos ejemplos de arquitectura tradicional que son magníficas desde todos los aspectos: escala, relación social, construcción proceso participativo, equilibrio, belleza y relación con el medio natural. Esos ejemplos están realizados sin arquitecto, sin planificación ni decisiones zonales, y sin computadoras.

Aunque a priori parece que esa arquitectura está hecha de manera totalmente espontánea, un análisis más cercano nos demuestra que se pueden identificar patrones internos de organización. La más inmediata tiene que ver con los materiales de construcción disponibles y con la relación con un determinado clima. Esas “fuerzas” generativas o patrones son lo que Friedman denomina el alfabeto del lenguaje⁸.

Negroponte e los Friedman colaboran entre 1973 y 1975 en el Programa *Architecture-by-Yourself* en el Architecture Machine Group en el MIT. Para objetivar el diseño, ambos abogan por la eliminación del diseñador, o al menos la sustitución por una serie de reglas no subjetivas que garantizan reproducir el éxito. La respuesta, sostiene negroponte, reside en las infraestructuras: “una mezcla de estructuras conceptuales y físicas para las cada diseñador tiene una aproximación diferente. Yo querría asumir el concepto de infraestructura como una mezcla entre un edificio con capacidad adaptativa mezclada con tecnología de la información y preguntarme qué papel puede tener una máquina inteligente actuando como un interfaz personal (mediador, no traductor) entre esa infraestructura y las necesidades del usuario”

Esta tendencia a sublimar lo vernáculo tiene un extraño sinsentido, y es objeto de una cuestionable vulgarización de los protocolos de trabajo. Si quisiéramos reproducir esa arquitectura vernácula debemos antes que nada identificar los rasgos representativos de la arquitectura vernácula Pero el análisis que hace le acerca de nuevo al procedimiento.

- El modo de nombrar los espacios. El modo de categorizar los espacios, etiquetándolos por la relación entre la función que puede albergar y el espacio en sí.
- La condición cambiante de la vivienda. Las dimensiones y el uso o división interna tienden a adaptarse a las circunstancias familiares dado el inmovilismo tradicional de las sociedades más rurales. esto choca con una visión industrialista que aplica el esquema de cambio a otra según cambian las circunstancias.
- Los habitantes funcionan como un colectivo cuyos referentes son co-

⁸ Remite a las obras de Friedman *Realizable Utopias* (1973) y *Society=Environment* (1972)

munes y con un cierto grado de limitación. Esto deriva en opiniones unánimes. No hay opción para la variedad. Es preciso proceder a un ensanchamiento de esta dinámica recurriendo a procesos enriquecedores.

4.3. Significación de Cedric Price

La figura de Price es claramente distinta a los otros dos autores analizados y se procede a su crítica en esta parte final de la sección puesto que es el personaje que cierra la tendencia compartida por los tres autores desde la posición más disciplinar. Su relevancia va más allá de los predicados que aquí se analizan ya que por su versatilidad y originalidad se trata de un personaje de inflexión en muchos aspectos de la arquitectura del siglo XX. Muchas investigaciones se enmarcan en torno a la figura de Cedric Price, en su mayor parte por ser enlace entre Fuller y los arquitectos británicos y anglosajones de la segunda mitad de siglo. Se le considera responsable de una profunda renovación del entorno pedagógico británico e impulsor de un marcado papel social de la arquitectura. Finalmente, su trascendencia reside en una actitud inventiva aunque rigurosa del papel de la tecnología de la construcción.

Price despliega una mirada genuinamente proyectual destinada a concebir sus planteamientos teóricos desde el espacio arquitectónico, sin mediación de “construcciones” abstractas. No es matemático, ni ingeniero, ni programador, pero tiene la habilidad de detectar las oportunidades de diseño arquitectónico ejerciendo de enlace todas esas disciplinas con preminencia de la construcción.

Si hubiera un espacio preferido al que Price siempre vuelve, éste está claramente influenciado por el referente Benthamniano.⁹ Un espacio que sin embargo Price traduce al lenguaje pseudo-industrial aunque suavizando sus aristas conceptuales bajo el efecto de una arquitectura del disfrute. Los espacios del Fun Palace o su propuesta para Battersea Power Station, tal y como se ve en la figura nnnnn muestran cómo Price asocia espacio industrial que se ve completa desde un punto, con un espacio expectante lleno de posibilidades. O un espacio deliveradamente indeterminado. Su amigo y crítico Royston Landau define la arquitectura de Cedric Price como fundamentalmente ideológica y ética, que motiva su capacidad transgresora.¹⁰

PREDICADO 3

Deshace el concepto de “tipología” tanto de edificios, espacios y elementos constructivos que remiten a la maquinaria industrial que los produce. Hacer desaparecer una arquitectura de contornos en beneficio de una arquitectura de mecanismos que construyen. Es capaz de detectar el código genético de

⁹ Bentham, Jeremy establece el *Panopticon* como espacio de observación

¹⁰ Royston Landau. *A philosophy of enabling*.

los proyectos arquitectónicos y ver más allá de la forma; de hecho, su gran amistad con Buckminster Fuller se apoya precisamente en su capacidad de entender el verdadero significante de la actitud integradora del maestro americano. De hecho se declara menos interesado en las estructuras de Fuller y más en su visión global de un modelo de trabajo.

11

La relación que se establece entre Fuller y Price es marcadamente unidireccional. Cuando Price le pide opinión sobre la estructura del aviario, Fuller le contesta que entiende que la pureza del modelo estructural se había visto “comprometido” por una excesiva concesión a la elasticidad formal de la estructura. Este argumento da pie un comentario sobre la figuración de Price. Dado que su interés principal era experimentar con el espacio, salvo quizás en algunos proyectos de escala media, Price diseña sobre la base de controlar las unidades básicas de un espacio después “liberado” Es por esa razón que adolece de un exceso de devoción por lo modular. Hay una relación con el concepto de célula mínima de interacción con capacidad de interactuar y relacionarse.

En 1962 Fuller solicita a Price para que diseñe un proyecto empleando su modelo de cúpulas geodésicas. El experimento de la Claverton Dome, puso de manifiesto el diferente acercamiento entre ambos autores aún a pesar de que colaborarían a lo largo de muchas ocasiones en su vida. La principal crítica de Price era la rigidez de planteamientos de Fuller que no permitía alteraciones ni variaciones sobre modelos cerrados. Price se encontraba forzado a confrontar las limitaciones y a defender las ventajas de los sistemas flexibles. Se opone a aceptar el artefacto como contenedor inalterable porque no era apto para el oficio de vivir que es claramente mutable.

Aunque Price declara suscribir el concepto de Fuller acerca del entrelazamiento de sistemas a nivel global, no compartía la visión trascendental o filosófica tras ello. No consideraba que todo estaba regido por un orden racional y trascendente relacionado con todo y mucho menos que todo ello fuera inalterable. Fuller había construido su escenario vital según un modelo dentro del cual la geometría la física, la química y la sociedad podían todos ser coordinados como sistema de relaciones. Por el contrario, Price no creía en algo tan consistente y compacto. De algún modo pertenece a un entorno en el que el orden social, político, filosófico y científico influyen y están permanentemente en cuestión.

Ambos autores usan el término *anticipación* pero con muy distintos matices. Para Fuller anticiparse no tiene carácter predictivo e implica dominar el escenario de diseño manejando las variables precisas de restricción. La cuestión de las patentes orienta su trabajo hacia la aplicación directa y la

¹¹ Mike Webb, componente junto a Price de Archigram, expone “Creo que Cedric estaba mucho menos interesado en las estructuras de Fuller que en su visión. Para ambos, el objeto físico era sólo un medio para realizar esa visión”.

máxima eficacia. Sin embargo para Price lo anticipatorio es la capacidad de prever contingencias, incorporar la consideración del inevitable cambio, que está previsto desde el estado inicial del diseño.

PREDICADO 4

Price denomina la condición anticipatoria de la arquitectura como *incertidumbre calculada* y se basa en la *indeterminación*. Para poder asumir e incorporar al diseño lo incierto y lo por-conocer el arquitecto debe indagar en las ciencias de la indeterminación: la cibernética y la teoría de juegos. El término contingencia se instalaría en una relevante parte de su discurso.

Es posible rastrear una influencia directa en el trabajo de Price que remiten a un campo filosóficos (desde el paradigma físico clásico). Por un lado el principio de indeterminación que Werner Heisenberg enunciara en 1927. El principio de incertidumbre originado en la física cuántica, se refiere a la condición de trabajar sobre variables abiertas y vinculadas, condición que han inundado todas las disciplinas científicas y humanísticas de los últimos cincuenta años, dando plataforma de desarrollo a las ciencias de la computación y a re-definir los escenarios de estudio de las ciencias “exactas”.¹² . cite Lindley, David, *Incertidumbre. Einstein, Heisenberg y Bohr*. Ariel 2005 A esto remite a Price sobre la consideración de que el diseño de un espacio basado en las relaciones no puede cerrarse, asumiendo que dichas relaciones son impredecibles y que la incertidumbre se integra como un parámetro más de diseño.

Existe en Price una consideración temporal esencial. En este caso marcada por cuestiones que tienen que ver con los ciclos de uso. El aspecto participativo se destina más a una cualificación del espacio, e implicación en cuestiones industriales de incorporación al paisaje arquitectónico de grúas y contenedores que trascienden el papel de medios auxiliares. Configuran el detalle constructivo elemental.¹³

Esa implicación en diseñar sobre la base de unidades industriales terminadas fascina a Banham que radica en la eliminación de construir algo permanente en favor de la construcción transportable y modular. Esto cambiaría la relación entre tecnología y arquitectura en el escenario constructivo europeo de las siguientes décadas.

La gestión de la gran escala tiene un carácter mucho menos utópico que otras propuestas contemporáneas como las ciudades andantes o enchufables de Archigram y las ciudades en el aire de Constant. De hecho se basan en

¹²Refiere a la imposibilidad de afirmar rotundamente la certeza de una cualidad física, puesto que está vinculada a otras variables que la afectan decisivamente. El ejemplo clásico se refiere a que no se puede determinar, en términos de la física clásica, simultáneamente y con precisión arbitraria, ciertos pares de variables físicas, como son, la posición y el momento lineal de un objeto dado; cuanto mayor certeza se busca en determinar la posición de una partícula, menos se conoce su cantidad de movimiento lineal y, por tanto, su velocidad.

¹³ Reyner Banham *Flatscape with containers*

una relación perfectamente dimensionada de la realidad. En sus proyectos que se desarrollaban en el tiempo, como el *Potteries Thinkbelt* o el *Atom*, Price establece primero los vínculos con los usuarios reales antes de proponer una arquitectura. Lo móvil como metáfora de dinamismo social y educativo. Influido por una etapa living-pod, con un lenguaje formal más contenido y mucho más gobernado por la esencia programática. Es interesante analizar la influencia mutua de Price en Archigram y viceversa, en los aspectos de sistema abierto, y en lo relativo a cuestiones de instrumento de dibujo. Desde el punto de vista crítico de esta tesis, Price cambia radicalmente los códigos semánticos arquitectónicos sin alardes formales, aunque el análisis de su código de dibujo es de una profundidad indudable.

PREDICADO 5 Se denota una marcada influencia en el concepto de *autor en desaparición* enunciado por Roland Barthes. En algunos proyectos de Price, se hace patente un tenaz empeño en diluir la autoría entre sus múltiples colaboradores. No es tan sólo una cuestión de voluntad, sino también la constatación de que el mérito es compartido y de que es contradictorio plantear arquitectura y propiedad intelectual sobre la misma. Esto está legitimado por la invención y manejo de herramientas diversas para el nuevo paisaje disciplinar. En su artículo “A Conceptual Seeding Technique for Architectural Design” publicado en 1979, los Frazer critican el acercamiento de aquellos diseñadores que aplicaban una imposición jerarquizada pretendiendo utilizar métodos de diseño asistido por computador como si fueran herramientas tradicionales que habían ganado en precisión; una prolongación de uso de las herramientas de dibujo como instrumento de representación en vez de mecanismo de generación.

Price ya mantenía que era esencial explorar lo que tiene de modificación del código genético de lo que se dibuja. Por esa razón era necesario establecer una distancia de la propia creación y estar dispuesto a cambiarla en cualquier momento. A plantear versiones diferentes aún a pesar de no alterar lo fundamental. Algunos rasgos de su aspecto personal y su posición vital en el ámbito de la docencia, abundaban en esta actitud.¹⁴ Cuando se refieren a abandonar el orden jerárquico se entiende que no se trata de ordenar objetos sino asignar atributos y valores a estos y establecer luego relaciones entre ellos. Esto habilita al diseñador para tratar el objeto de manera integral en forma, estructura, construcción, estética y otros aspectos funcionales.

¹⁴ Sobre el significado del “detachable collar” Según explican John Frazer y Royston Landau las camisas con cuello intercambiable suponían un rasgo identitario de Price. Desde una posición irónica declaraba la capacidad de transformación de su indumentaria con un mínimo cambio de detalle.

4.4. Estudio Comparado de los modelos y Contribución

Triangulación inter-pares.

Tal y como se describe en el apartado destinado a la metodología aplicada en este trabajo, el ejercicio de *triangulación* es en este contexto, presentar de manera comparada los conceptos que se han analizado en cada uno de los tres modelos, estableciendo las distancias y dependencias de modo que el resultado final tiende a ser un campo equipotencial. Esta metodología nos permite definir los hallazgos y rastrear sus efectos; al seguimiento de las cuestiones que han trascendido y que han contribuido a modelar lo que la arquitectura es en nuestros días.

Son conceptos de triangulación metodológica sobre los argumentos que han operado como base conceptual de la tesis. Se cifran en cinco argumentos principales.

El empleo de una triangulación metodológica estricta adquiere aquí una significación matizada por cuestiones de metáfora disciplinar. Triangular es la operación geométrica por la que se verifican las dimensiones de un segmento por comparación estricta de distancias a tres puntos distintos. Para que la distancia sea correcta, los tres lados del triángulo deben guardar las relaciones trigonométricas exactas.

Abre así el capítulo final de esta tesis y es preámbulo a las conclusiones de la misma.

1. El primer argumento comparado entre pares tiene que ver con el **concepto espacial** de los tres modelos.

Tanto en Price con su propuesta arquitectónica como Negroponte con sus propuestas instrumentales, ambas actitudes parten de la premisa de que se diseña una arquitectura que piensa. Generado en forma de circuito donde los puntos de concentración (programa) propician nuevos flujos como en un ordenador habitable. Price prefigura una nueva forma de inteligencia, eliminando los mecanismos arquitectónicos tradicionales.

En contraste con la abstracción espacial de Negroponte que habla permanentemente de un espacio genérico, el espacio de Price es notablemente específico. El diseño arquitectónico asociado a ello incorpora grandes estructuras industriales surcadas de grúas puentes de infraestructuras portuarias. Continuando con el lenguaje maquinista del Fun Palace, se establece un primer diseño del sistema a través de la máquina que se monta a sí misma, un concepto también con claras reminiscencias cibernéticas.

En el caso de Alexander, es importante definir la figuración del espacio arquitectónico como un espacio sin forma o más bien, como el lugar geométrico de todas las propiedades de la forma. De manera que es un espacio sin contornos. A este respecto, coincide con Negroponte, en basar sus modelos arquitectónicos en un espacio matemático extendido en el espacio. la diferen-

cia radica en que para Negroponte es un espacio tridimensional y dinámico, y para Alexander sigue siendo un espacio de relaciones representado en dos dimensiones.

2. El segundo argumento refiere la **notación arquitectónica** y es aquí compendio de lo que está desarrollado en la parte de análisis de cada uno de los autores.¹⁵ (Ontología como sustancia e identidad de que está dotada una entidad)

En el compendio de dibujos presentados por Price como proyecto, se incorporan planes directores y ordenaciones de rutas y de instrucciones de intercambio de piezas. Sólo el diseño de las piezas transportables, y los esquemas de montaje de estos, remiten a un campo disciplinar arquitectónico, aún así descrito en términos de montaje industrial.

En Price las imágenes que describen el proyecto, reflejan por un lado las etapas de ocupación, y escenas de la vida útil del proyecto, y por otro lado el sistema operativo que subyace. La voluntad, el ideal de desarrollo de estos proyectos es incubar nuevas formas de conectividad, no es tanto el distribuir arquitectura tradicional en forma de red abierta, sino sacrificando las funciones clásicas de orden y estabilidad en el tiempo. Negroponte no reflexiona sobre la significación estilística del dibujo sino que delega esa dinámica a los dispositivos de las máquinas. La presencia de la tableta de dibujo a mano alzada Sylvania, es la proyección y traducción del croquis al espacio matemático. El dibujo en Price es dinámico; en Negroponte el dibujo emana de lo dinámico.

Las limitaciones del dibujo en Price residen en que sólo puede hacer una versión del dibujo (copia en el sentido de original) y ésta es estática. Aunque sus edificios son pura acción, sólo pueden contarse con planos bidimensionales y acaso maquetas. Por eso incorpora el computador como vehículo hacia lo dinámico y lo tridimensional. Las limitaciones del dibujo en Negroponte lo son el cuadrante delimitado por la pantalla del ordenador.

Sin embargo Alexander no tiene descrito un estilo de dibujo concreto, ha delegado en una secuencia de patrones y sus relaciones para cumplir ese propósito. Sus dibujos son según su entendimiento métodos en sí mismos y por esa razón están descritos como *axiomas*.

Hay muchos dibujos en axonometría que remiten a lo constructivo. El uso de lo tridimensional tiene que ver con la visualización del proceso de montaje y es el documento que se utiliza principalmente para entender el sistema de modo completo (esto enlaza con Negroponte en cuanto a entender lo arquitectónico como un espacio matemático tridimensional, que sin embargo no está presente en Alexander)

Price fue profusamente publicado en su época y tuvo una radical influen-

¹⁵ Mario Carpo, en *The Alphabet and the algorithm*, define uno de las ontologías más precisas de la disciplina, remitiendo al valor de la alografía en arquitectura como las instrucciones que permiten establecer las copias de un original aún por construir.

cia en el modo de dibujar de los años sesenta, siendo recuperado a finales de los noventa.

3. El tercer argumento remite a la utilización de la **herramienta de computación**.

Relación entre Price y Negroponte se cifra en procedimientos abiertos. Así como Price no tenía conocimientos ni de matemática ni de computación es el autor que más directamente contribuye a la inserción de los conceptos nodales de espacio computacional en espacio arquitectónico. Altera para siempre los códigos arquitectónicos: tanto de dibujo y notación como de relación con el programa y de relación con las condiciones de contorno sociales. ¿qué hubiera ocurrido de colaborar juntos?

Alexander y Negroponte comparten fascinación por a la arquitectura tradicional en su espontáneo y no gobernado resultado. por un lado da pie a lo participativo y por otro da pie a incorporar procesos espontáneos que no responden a una regla única.

Christopher Alexander conoce a Price en abril de 1966 entre los proyectos de PTB del 64 y Atom de ese mismo año, y en aquella ocasión le expone la admiración que le suscita su proceso de diseño, y en particular, su aplicación de análisis de control cibernético para atomizar y organizar actividades. Mathews 2006

Uno de los primeros arquitectos en utilizar, emplear la tecnología de la información y las ciencias de la computación para crear una arquitectura sensible que reaccionara a la variabilidad de la forma y la función. el uso de la tecnología se centra en hacer del uso de los computadores. pero la tecnología no era el fin en sí mismo. Coincidiendo con Fuller, vio en la computación el instrumento por el cual el diseñador y el usuario podían tener un control sin precedentes sobre su propio entorno. La figuración de su arquitectura, alejada de la devoción tecnológica de los incipiente *high tech*, forma parte de otra serie de paradigmas personales. Por ejemplo integrar la improvisación en la arquitectura. sin saberlo estaba contribuyendo a instrumentos computacionales posteriores.

Con la teoría de la conversación que tiene un desarrollo inicial en el ámbito del Fun Palace, Pask, que está colaborando con Cedric Price establece vínculos con Negroponte, para el que trabajaría en algunos de los experimentos del en el *architecture machine*.

Al fin y al cabo, aunque no cabe duda de la influencia formal del Fun Palace no sólo en los programas de proyectos de *Archigram* y en el lenguaje figurativo e industrial del high tech de los años setenta, ninguno de estos proyectos de arquitectura replicaron el verdadero esquema genético de funcionamiento basado de algoritmos y posibilidades abiertas. Como una armadura en la cual un molde interactivo podía trasladarse a una construcción espacial concreta.

4. El cuarto argumento de triangulación se refiere a la cuestión de la

participación.

La relación entre Negroponte y Yona Friedman está claramente demostrada y tiene que ver con la reflexión de que quiere decir el diseño de entidades complejas y las cuestiones de participación. la actitud ante la participación. El trabajo doctoral de Vardouli incide en la dirección de la relevancia de la relación entre esos dos autores unidos desde la perspectiva de aunque el trabajo de Yona Friedman no está tratado en profundidad en esta tesis, sí es esencial entender la relación existente entre los planteamientos de variables espaciales y la participación de una comunidad. De allí surgen planteamientos de procedimientos de hipótesis paralelas, tan relevantes en posteriores corrientes dentro de la computación. el concepto de máquina que debe ser capaz de realizar muchos razonamientos en paralelo es vital para poder generar herramientas generativas.

La relación entre Friedman y Alexander parten de estructuras matemáticas. Mientras Alexander está mucho más interesado en relaciones algorítmicas y la generación de un lenguaje generativo denostando las estructuras lógicas y más interesado en incorporar sensaciones. Friedman se ocupó de desarrollar las cuestiones de hacia una arquitectura científica. basada en matemáticas algebraicas de relaciones. sus diagramas de árbol y sus matrices de posibilidades combinatorias contrastan con la crítica feroz de Alexander a las distribuciones arbóreas de sistemas complejos.

Incorporar al cliente y al usuario como actores esenciales del proceso arquitectónico. Esto es inédito en Alexander pero muy acusado en Negroponte. Este goza de un relevante papel social y un eco mediático que le permite mantener un diálogo con todos los actores de la escena social. Es impulsor de redes de conexión pedagógica entre distintas instituciones académicas de Europa y Estados Unidos. Tienen un acercamiento particular al diseño participativo: por un lado es necesario recoger la intervención del usuario y por otro lado, la participación enriquece cualquier proceso que requiere una enorme muestra de casos para implementar muestreos.

Es el más librepensador de los tres personajes en análisis, y su rango de intereses se amplía constantemente. Es un personaje que vemos evolucionar con su tiempo. no especialmente obsesionado con las computadoras. Su interés en la cibernética se origina en la teoría de la conversación de Gordon Pask que le permite aplicar su olfato para intuir espacios de enriquecimiento disciplinar es único.

Por otro lado, su interés en los procesos participativos se basan en el aprendizaje. Price raramente remite al término enseñanza, utilizando el término aprendizaje que es el relevante en un proceso formativo.

Comparte la crítica de Alexander hacia los logros del Movimiento Moderno, que tilda de caducos y unidireccionales, esposando unas demandas que necesitaban respuestas restrictivas y deterministas no dejaban margen de maniobra para la actividad humana.

5. El quinto argumento tiene que ver con la actitud ante la construcción.

El concepto de construcción en Price está basado en una confianza ciega en la tecnología que es la que suministra las leyes generativas de su sistema. Así como en Alexander la construcción está anclada en los modos tradicionales de ejecución de elementos convencionales, en Price la construcción es sinónimo siempre de soluciones innovadoras, fascinado por los procesos de industrialización. En el caso de Negroponte, la construcción se ha delegado a un ámbito externo al laboratorio, con resonancias en la tecnología de los medios auxiliares.

Para Price planificar actividades debe permitir el cambio no solo en forma sino en programa, y en la tecnología que lo hace posible. El quinto argumento tiene que ver con las escalas y el diseño territorial. su concepto de ciudad. Ya hemos analizado los tres acercamientos hacia el concepto de ciudad. Los tres críticos con los modelos imperantes y que cuestionan el modelo del movimiento moderno, haciéndole responsable de los grandes fracasos del mundo.

COLOFON

Los modelos de estudio son radicalmente distintos. Aunque sí comparten una condición inicial de inquietud por transformar ciertos modos de su ejercicio que no tenían respuesta en los procedimientos y herramientas convencionales, cada uno lo incorpora de manera distinta lo cual determina también la incidencia de sus arquitecturas en desarrollos posteriores de la disciplina.

Ninguno de ellos se acerca a la computación con un deliberado propósito de integrarlo a su quehacer profesional, pero es dictado por una determinada necesidad o actitud, que lo digital acaba formando parte de su modelo arquitectónico. Negroponte es el más cibernético de los tres, pero también el menos interesado en el ejercicio constructivo ortodoxo. Su modelo es la investigación, y aporta la actitud más químicamente pura desde el punto de vista de la innovación, puesto que centra su tarea en la elaboración de las herramientas que harían posible articular nuevos campos conceptuales.

De otro lado, Alexander está volcado en una gran construcción abstracta basada en la matemática que le permite desarrollar un gran sistema, desde la convicción de resuelve todas las casuísticas arquitectónicas posibles. Más que un modelo lo que desarrolla es un método sofisticado.

En otro espectro radicalmente diferente, Price concede a la historia de la arquitectura la aportación más valiosa de este escenario. Su relevancia está en varios planos de intensa profundidad. Se cifran en una actitud del diseño desde la más absoluta libertad, que permea a todas las capas del proyecto: el programa, el espacio, el usuario, el procedimiento constructivo, el papel de la arquitectura en la sociedad, y el modo de notación arquitectónica que de ello deriva.

Curiosamente el legado de Alexander, de una intensa capacidad crítica (es quizás es el más político de los tres), se vuelca en el plano del diseño ur-

bano pero no trasciende con modos de implementación que fueran realmente flexibles. No incorpora la incertidumbre a su trabajo que se demuestra a los largo de los años, marcadamente lineal y mono-temática. Esa puede ser la razón de una trayectoria profesional escindida entre su vocación de diseñador de sistemas y su trabajo de arquitecto convencional. Es pertinente destacar que su legado ha funcionado en bucle, y su estructura intelectual basada en la matemática que genera un complejo lenguaje de patrones, acabaría dando origen a toda una rama de la computación que a él debe su marco conceptual.

En un registro muy distinto Price y Negroponte aportan un legado incuestionable a la arquitectura que se desarrolla en la actualidad. En un proceso cada vez más amplio de arquitectura originada en el solape de procesos, con clara convergencia de lo natural y lo artificial de lo biológico y lo robotizado. El legado se desdobra así con derivaciones en lo paramétrico, evolutivo, generativo, y de organización inteligente de la materia.

Capítulo 5

Proyección en modelos arquitectónicos actuales

El estado de *digitalización*, que en nuestros días opera en la práctica de la Arquitectura, se origina en el empeño profesional de un grupo reducido de arquitectos que abren, hace ya medio siglo, caminos de ejercicio disciplinar con el acompañamiento (o inclusión) de conceptos, procesos y herramientas propias la Computación.

Este capítulo, derivada natural de lo expuesto en el capítulo *Arquitectura y Máquinas*, despliega el impacto de aquellas prácticas en la presente manera de diseñar arquitectura. Para ello identifica líneas de investigación de la Arquitectura de nuestros días que son evolución directa de los modelos de la década de los sesenta estudiados.

El objeto de este trabajo, que es el establecimiento de un espacio conceptual común entre Arquitectura y Computación, elude un planteamiento de conclusión de carácter instrumental. No persigue la descripción de una serie numerosa de herramientas geométricas sofisticadas, en permanente aumento y perfeccionamiento, o de los llamativos avances en la producción material de modelos tridimensionales a través de medios robotizados. Ese planteamiento sería objeto de un trabajo doctoral distinto. Su pretensión, siguiendo el planteamiento de Price, de Alexander y de Negroponte es identificar y proyectar la relevancia de los procesos computacionales en el desarrollo de la Arquitectura. Demuestra que los procesos sólo pueden aproximarse si comparten *campo semántico* con conceptos externos que obtienen de la Matemática y la Biología, las Ciencias de Sistemas.

Ese campo común se construye mediante la elaboración de ontologías que han permitido a la arquitectura y la computación trabajar sobre un lenguaje común. Más allá de la Delimitan un entorno compatible donde es posible la transferencia de conocimiento y procedimientos de una a la otra.

El uso de ontologías tiene ese carácter de intercambio. Si en Filosofía clásica, la **Ontología** es la ciencia que estudia el ser y sus propiedades trascen-

dentales, dicho espacio conceptual ampara la necesidad de la Computación de definir y *ordenar* qué entidades existen y cómo se pueden agrupar según similitudes y diferencias.

En inteligencia artificial construir una ontología implica la asignación de nombres y definiciones a los tipos, propiedades e interrelaciones de las entidades de un dominio.

Según Tom Gruber, autor del concepto de Ontología dentro de las Ciencias de la Computación, una Ontología es la especificación de un concepto. El diseñador de un sistema adquiere un *compromiso ontológico* (*ontological commitment*), un acuerdo de uso de un vocabulario de modo tal que sea consciente de su posible evolución.

The word “ontology” seems to generate a lot of controversy in discussions about AI. It has a long history in philosophy, in which it refers to the subject of existence. It is also often confused with epistemology, which is about knowledge and knowing. In the context of knowledge sharing, I use the term ontology to mean a specification of a conceptualization. That is, an ontology is a description (like a formal specification of a program) of the concepts and relationships that can exist for an agent or a community of agents. This definition is consistent with the usage of ontology as set-of-concept-definitions, but more general. And it is certainly a different sense of the word than its use in philosophy.

La arquitectura, necesita construir ontologías para permitir su evolución conceptual y poder incorporar herramientas que se programan según los códigos (y lenguajes) de la Ciencia de la Computación. Veamos la ontología definida para un **mapa** concepto que tiene connotaciones físicas en varios niveles de información.¹

En esta ontología, las primeras definiciones responden a clases del dominio natural de la Arquitectura.

```
<daml:versionInfo>$Id: map-ont.daml,v 1.8 2003/03/06 17:05:39 tself Exp $</daml:versionInfo>
<rdfs:comment>\textbf{Map Overlay Ontology}</rdfs:comment>
</daml:Ontology>
-<rdfs:Class rdf:ID="Map">
-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#name"/>
<daml:toClass rdf:resource="http://www.w3.org/2000/10/XMLSchema#string"/>
</daml:Restriction>

-<rdfs:Class rdf:ID="Location">
-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#latitude"/>
<daml:toClass rdf:resource="http://www.w3.org/2000/10/XMLSchema#double"/>
<!-- XXX - custom xsd:latitude -->
</daml:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
```

¹Ontología construida para la definición de *map*. Obtenida de CYC Artificial Intelligence Project que pertenece a OWL (Ontology Web Language).

```

-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#latitude"/>
<daml:cardinality>1</daml:cardinality>
</daml:Restriction>
</rdfs:subClassOf>

-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#longitude"/>
<daml:toClass rdf:resource="http://www.w3.org/2000/10/XMLSchema#double"/>
<!-- XXX - custom xsd:longitude -->
</daml:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#longitude"/>
<daml:cardinality>1</daml:cardinality>
</daml:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
</rdfs:Class>

```

En la siguiente relación de clases, se establecen los elementos geométricos de dibujo, con sus relaciones y sus atributos matemáticos que pueden redefinirse.

```

-<rdfs:Class rdf:ID="DrawingLayer">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="#Layer"/>
-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#object"/>
<daml:toClass rdf:resource="#MapObject"/>
</daml:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
</rdfs:Class>
-<rdfs:Class rdf:ID="PredefinedLayer">
<rdfs:comment>a named layer interpreted by the viewer, e.g. political solid, coastline, rivers, etc.</rdfs:comment>

<rdfs:subClassOf rdf:resource="#Layer"/>
</rdfs:subClassOf>
-<rdfs:Class rdf:ID="Point">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="#MapObject"/>
-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#location"/>
<daml:toClass rdf:resource="#Location"/>
</daml:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#location"/>
<daml:cardinality>1</daml:cardinality>
</daml:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#label"/>
<daml:toClass rdf:resource="http://www.w3.org/2000/10/XMLSchema#string"/>
</daml:Restriction>

```

```

</rdfs:subClassOf>
-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#label"/>
<daml:maxCardinality>1</daml:maxCardinality>
</daml:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<!-- XXX - size, color, etc. -->
</rdfs:Class>

-<rdfs:Class rdf:ID="Line">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="#MapObject"/>
-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#location"/>
<daml:toClass rdf:resource="#Location"/>
</daml:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#location"/>
<daml:cardinality>2</daml:cardinality>
</daml:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#color"/>
<daml:toClass rdf:resource="#Color"/>
</daml:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
-<rdfs:subClassOf>
-<daml:Restriction>
<daml:onProperty rdf:resource="#color"/>
<daml:maxCardinality>1</daml:maxCardinality>
</daml:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<!-- XXX - style, etc. -->
<!-- XXX - great circle, straight, etc. -->
</rdfs:Class>

-<rdfs:Class rdf:ID="Polygon">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="#MapObject"/>
<!-- XXX -->
</rdfs:Class>

```

Esta construcción permite tener una descripción taxonómica de todos los elementos de un mapa (clases, subclases, objetos) descritos de modo tal que pueden ser insertados y operados en distintos lenguajes y códigos de programación.

Es un procedimiento esencial para permitir la evolución generativa de la arquitectura

5.1. Gordon Pask y el cambio del objeto disciplinar

Haciendo uso de la metáfora evolutiva, puede decirse que el desarrollo de este capítulo se centra en la herencia transmitida a través de dos personajes enlace fundamentales: Gordon Pask, y muy especialmente John Frazer. Ambos ya han sido presentados como predicados del trabajo de Price y Negroponte, con resonancias en el modelo de Alexander.

La *Encyclopedia of Computers and Computer History* (Routledge, 2001), define el diseño asistido por ordenador como un conjunto de programas basados en objetos. Dichos objetos pueden ser elementos geométricos sencillos o construcciones más complejas. Hoy en día se denominan “primitivos básicos arquitectónicos”. Pero diez años más tarde el *Oxford Dictionary of Computing* (Routledge, 2010) matiza la acepción, incorporando la presencia de un diseñador para dar sentido a la relación entre esos objetos. Esa relación ha dado pie a una serie de construcciones teóricas en las que se basa la práctica de la arquitectura de nuestros días inmersa en procedimientos computacionales.

Lo esencial que ha tenido lugar en estos años, es una deriva del objeto disciplinar de la arquitectura para ocuparse de contenidos que van más allá de los edificios o las ciudades. Más que una deriva, se trata de una radical ampliación de lo que constituye un asunto arquitectónico. Como veremos a continuación, uno de los cambios más importantes es la anticipación de cuestiones que cubren un amplio espectro de escalas: desde la nano-escala de los materiales y su puesta en obra, hasta el trabajo de diseño predictivo de ciudades entendidas estas como entidades vivas.

Todos participan de la idea recurrente de trabajar desde el paradigma de los sistemas complejos, que establecen siempre prácticas asociativas.

En este texto, se apunta cómo la materialidad se convierte en la premisa fundamental a la hora de tratar de procesos relacionales. Tal y como describe Trummer en su artículo “associative design”, es posible trazar una trayectoria de la deriva histórica desde el pensamiento basado en tipos hacia el pensamiento poblacional (Wyant y Trummer, 2006). Esta evolución discurre desde la presunción de un tipo único como impulsor de un modelo arquitectónico, hacia el prototipo que emana de una familia de variantes (variaciones). Como se ha tratado en la parte de Biología de los antecedentes, las posibilidades inherentes a un genotipo se especializan dada una determinada reacción interna a las condiciones de contorno.

Toda tipología describe la esencia del objeto para explicar su identidad. Sin esos rasgos fundamentales el objeto carece de identidad, de atributos. El problema de ese planteamiento es que descarta cualquier proceso generativo, que aporta variables en función de las condiciones concretas de generación. Convierte al tipo es una categoría suspendida en el tiempo.

Hasta ahora la dinámica de trabajo desde una arquitectura ortodoxa, era

Figura 5.1: Gordon Pask. Cartel anunciador del Moon Music (1962)

desarrollar la práctica arquitectónica, basada en el concepto de filia por la mecánica. Pero en un mundo donde rigen las comunicaciones, las redes y las prácticas interdisciplinarias, debemos alejarnos del entendimiento de las formas arquitectónicas como resultado de un problema geométrico. Debemos acercarnos a la idea de cómo una compleja red de procesos físicos definen y generan la forma de objetos inanimados.

Tal y como sostiene Peter Trummer el discurso computacional contemporáneo está contaminado por el término “diseño paramétrico”. Las técnicas de diseño paramétrico, definen los elementos básicos geométricos o arquitectónicos como objetos variables según sus atributos métricos o dimensionales. Esto sugiere que un “objeto” contiene innumerables versiones según sus variables geométricas.

La acepción más operativa para el diseño arquitectónico como sistema remite a las técnicas paramétricas como técnicas de diseño asociativo. La razón es que el término asociativo no sólo se refiere a la varianza sino a la conexión o ensamblaje: vincula cualidades atributos entre elementos y permite operar con ellos. Es lo que se convierte en verdaderamente relevante: dado que una entidad arquitectónica es el entrelazamiento de múltiples componentes, en sistemas físicos, las relaciones entre todas esas partes sobre la descripción de cada vínculo, es lo que permite generar espacio arquitectónico.

Manuel de Landa lo ha denominado los grados de libertad de un objeto arquitectónico: cualidades inherentes al objeto que permiten su transformación; es decir, que el objeto arquitectónico ya no se interpreta como una construcción geométrica sino como una entidad con enlaces físicos complejos.

El diseño del medio humano, en un contexto cada vez más comprometido con los recursos del planeta debe plantearse desde supuestos plurales, mediante la utilización de procedimientos que interactúan según esferas de “rozamiento”. Las técnicas de computación permiten incorporar dichos pro-

Figura 5.2: Gordon Pask. Esquema del algoritmo de ejecución de la música en función de los asistentes (1962)

cedimientos al diseño arquitectónico desde múltiples variables. El trabajo en paralelo sobre un mismo enunciado repercute en el resultado. Produce de manera no lineal una familia de soluciones.²

En su texto nodal *Architectural relevance of Cybernetics*, Gordon Pask describe cómo para transformar el paradigma arquitectónico es necesario ampliar el equipo de los agentes implicados en el hecho edificatorio. Ya en 1969 resulta evidente que la tecnología puede proporcionar esas herramientas plurales, que se han desarrollado de tal manera en las últimas décadas que como nunca antes permiten la elaboración de modelos editables y ejecutables por el usuario.

El arquitecto es un diseñador de sistemas que aprende de los modelos complejos, naturales o artificiales, que comparten la condición de ser reactivos y adaptarse a las condiciones del entorno. Es por esta razón que la condición esencial del sistema diseñado por el arquitecto es dinámica y tiene la capacidad de proponer su extensión en el tiempo y las acciones organizativas de sus habitantes. Según Gordon Pask (Pask, 1969), los proyectos arquitectónicos deben incorporar normas para su evolución. El trabajo de los arquitectos se ha expandido más allá del edificio, comienza generando escenarios para la educación y la especulación, la invención de herramientas y la intervención a cualquier escala que se inicia diseñando los medios auxiliares cultivando las condiciones previas al proyecto.

Es fundamental para ello crear un meta-lenguaje arquitectónico (conjunto de herramientas, reglas y protocolos de aplicación) enfocado a propiciar una arquitectura con capacidad de aprender de su entorno. El entorno es también una noción en proceso de ampliación.

²En *Architectural relevance of Cybernetics* Pask incide en la necesidad de revisar el paradigma desde el concepto de la multiplicidad.

Figura 5.3: Gordon Pask. Education simulator (1969)

Esta reveladora posición con respecto a la cibernética, que en los años sesenta representa el garante de transformaciones disciplinares.

En su programa *Music colourist*, Gordon Pask explora ya cuestiones que tienen que ver con la importancia del aprendizaje. No en vano, el referente de inteligencia artificial del momento se basaba en un intento de replicar de manera automática procesos que el hombre podía acometer de manera natural. Frente a un primer enfoque infructuoso de “reproducir” una máquina que pensara, se recurre a un cambio de enfoque y se vuelca el proceso en que las máquinas aprender a hacer lo que ven hacer a los humanos. En las imágenes 5.1 y 5.2 se muestra un proyecto temprano de Gordon Pask denominado Moon Music festival que utilizaba el Music Colourist y que él mismo reseña en su texto fundamental sobre cibernética. En él se genera una instalación basada en mecanismos musicales que activan y desactivan en función de su interacción con los visitantes a la representación. Sin duda uno de los primeros experimentos que basa en la interacción entre las máquinas y las personas. Cedric Price acudió a una de esas representaciones y estableció con Pask una relación de interés mutuo inmediato.

Esto marca muchos de los hitos conceptuales de la *Conversation Theory* a través de la cual Pask se comunicaría con varios de los investigadores en arquitectura de su época. Según Frazer, la teoría de la conversación estableció la relación humana vital que se trasladaría a muchas de las derivas teóricas de los últimos treinta años. En la etapa de trabajo docente conjunta que

Figura 5.4: Gordon Pask. Esquema explicativo del conversation theory

ambos autores desarrollan en la *Architectural Association* Frazer y Pask desarrollan varias dinámicas de trabajo sobre arquitectura evolutiva sobre la base del aprendizaje como mecanismo de coherencia en la cooperación entre hombre y máquina.

3

Según la necesidad enunciada por Pask de una teoría general de la disciplina, un sistema arquitectónico es, desde el punto de vista cibernético, explicativo y predictivo. Desaparecen las tipologías y se ocupa de las descripción de los agentes y la interacción entre los mismos. Para ello, es necesario modelizar, simular cómo va a producirse dicho comportamiento y los arquitectos debemos adiestrarnos en las técnicas de la anticipación.

Un simulador es para la arquitectura un prototipo que debe incorporar principios tanto de los métodos teóricos como de los experimentales y debe asumir que se trata de procesos colaborativos hombre-máquina. Incorpora también sus propios mecanismos de *evaluación*. Estamos empezando a cambiar nuestro concepto de qué constituye una *solución* que acarrea una noción de convergencia de variaciones. La simulación genera conjuntos de soluciones.

5.2. John Frazer y los Entornos Evolutivos

John Frazer es el arquitecto que mejor ha recogido el legado de los arquitectos de los años sesenta, puesto que muy al inicio de su carrera colaboró con algunos de ellos, y recogiendo el testigo de la investigación para transformar la disciplina. Su recorrido profesional a lo largo de más de cuarenta años ha estado vinculado fundamentalmente a la investigación y la docencia

³ “La coherencia proviene de recursos accesibles como la naturaleza. El resultado potencia la originalidad por medios aparentemente sutiles” John Frazer en *The Cybernetics of Architecture: A tribute to the contribution of Gordon Pask*

siendo el fundador de varios laboratorios de investigación en Reino Unido, Irlanda, China y Australia. Es responsable del desarrollo de la arquitectura desde supuestos evolutivos y computacionales y se le debe ser el iniciador de una inmensa proporción de las investigaciones que se están desarrollando en la actualidad.

Autor de *An Evolutionary Architecture* (1995) propone un nuevo modelo de diseño como proceso reajustando el papel del usuario, las herramientas y los modos de producción. La computadora utiliza técnicas generativas y evolutivas para acelerar la evolución cooperativa de una futura arquitectura sostenible, y supone los medios para predecir, explorar y evaluar trayectorias futuras para el diseño.

Frazer había iniciado sus estudios en la Architectural Association involucrado en las técnicas de diseño asistido por ordenador y desarrollado en uno de sus trabajos académicos el “reptile systems” 5.5. Ya en ese proyecto había aplicado un programa llamado “seeding technique” basado en un método de generación como cultivo. *La necesidad de poder generar una estructura compleja en muy poco tiempo fue el verdadero desencadenante del proceso.*⁴ ?? se muestra en esa figura un proceso semi-automático de una única célula inicial.

Alumno de Cedric Price en la AA, Frazer pronto comienza a interesarse por la significación de la indeterminación en arquitectura. Cuando Price le convoca, junto a su mujer Julia, también arquitecta, para que colabore con él en el Generator Project, se desencadena un descubrimiento de procesos de programación empleando su capacidad en la invención de lenguajes que sirvieran a tal propósito.

En la década de los setenta, Frazer inicia un itinerario inspirado en procesos biológicos y generativos y junto con su equipo ha llevado a cabo experimentos con algoritmos genéticos, autómatas celulares fenómenos de emergencia, complejidad y bucles de realimentación en pos de una arquitectura dinámica.

La naturaleza genera prototipos a través de los mecanismos de evolución, proceso que ocurre a lo largo de millones de años. Las técnicas computacionales permiten acelerar ese proceso (compresión del tiempo) a través de prototipaje virtual para explorar las posibilidades del diseño múltiple, que es el procedimiento de la naturaleza. El mecanismo de diseño de un medio perfectamente optimizado. Todos los intentos no válidos, se van descartando en el camino. Del mismo modo, el uso del ordenador permite depurar los mecanismos de producción y operar el control directo sobre herramientas de fabricación, construcción y robótica. Es por esta razón que es necesaria la multiplicidad, la diversidad y el cambio.

La clave de la arquitectura evolutiva es utilizar esos mismos procedimientos; está en la selección artificial para encontrar una evolución diver-

⁴Entrevista con John Frazer

Figura 5.5: John Frazer. Reptile Structural System (1966 en adelante)

Figura 5.6: John Frazer. Arquitectura del procesador para el Generator Project (1978)

gente (amplía el espectro de soluciones). La evolución convergente busca la solución óptima; La evolución divergente busca la diversidad, el aumentar la variedad de opciones Darwin comienza su libro con una reflexión sobre la domesticación que es una selección artificial. (selección de los más aptos). Ver en el capítulo dos habla de la variación bajo condiciones naturales, y en el cuarto sobre la selección natural que es el modo en que opera la naturaleza, fabricando prototipos a lo largo de muchísimo tiempo.

La elección del diseñador después de ese proceso de generación de una población de soluciones, consiste en escoger una de ellas, a menudo desde su intuición, su criterio estético o su juicio basado en la experiencia. Es el proceso de selección artificial sobre una múltiple cantidad de opciones donde todas, a priori son adecuadas.

El arquitecto define las condiciones del contexto tanto desde el punto de vista físico y medioambiental, climático, como espacial, político, subjetivo, e intuitivo. El resultado final no es un edificio, no es una arquitectura, es un conjunto de las formas que adquieren los datos cuando se someten a un proceso evolutivo. Los elementos necesarios para construir un sistema generativo, son un soporte geométrico inicial, un motor de generación, un procedimiento de selección, un algoritmo de aprendizaje, y un sistema de diseño completo, desde la inepción de diseño a través de su desarrollo, optimización y resolución.

Desde la convicción incuestionable de la necesidad de diseñar con ese marco computacional y biológico, es pertinente una reflexión acerca de cómo esas herramientas colaboran a la tarea del diseñador.

Por un lado, no existe una base filosófica ni un aparato teórico relevante, al menos hasta el punto de transformar irreversiblemente la disciplina. Si consideramos la relevancia de la crítica, normalmente ejercida por no técnicos, que compara edificios desde un único patrón de análisis, que es normalmente estilístico, dejando fuera ejemplos anónimos que suponen grandes aportaciones tecnológicas. Una herramienta que articula la crítica desde los procesos, adquiere una relevancia fundamentada en un momento histórico participativo. La presión del espacio de las ciudades convierte el debate político en un actor presente en la disciplina.

Por otro lado, la industria de la construcción es un lastre para la disciplina (comparado con otras ciencias) es económicamente intensivo. La arquitectura tiene un impacto social, ambiental y económico brutal. Nos encontramos en un momento gobernado por el consumo asimétrico de materia y energía.

Por esa razón es fundamental cuestionarse para qué se necesita el diseño por computadora en arquitectura: En los inicios, los sistemas de diseño no ayudaban mucho, más bien dificultaban. Tan sólo eran mecanismos de dibujo, y pasivos. No proponían cambios sistémicos. Sólo a través de incorporar la capacidad de aprendizaje de los mismos se comenzó a establecer una herramienta verdaderamente transformadora. De un espacio de trabajo que establece una serie de reglas generativas pero no figurativas.

Frazer desarrolla dos de los más preliminares lenguajes de programación para dibujar y articular arquitectura. El Shape Processing Language (SPL). Un lenguaje para computer graphics para realizar operaciones gráficas de un modo orientado al usuario. (Frazer, Coates y Scott 1979-1981.) y el Genetic Language of Architecture (GLA), un lenguaje para codificar conceptos arquitectónicos de un modo útil para la evolución genética. Los mismos, 1990-en adelante. El primero manipulaba imágenes, el segundo manipulaba operaciones.

Frazer desarrolla una relación de las técnicas generativas que han derivado de los procedimientos iniciales de la computación evolutiva. Dichas técnicas generativas implican que tienen que aprender de lo existente para poder generar.

- Paramétrico (geometría variable) es clave para todo lo demás
- Combinatorio (basado en reglas y patrones)
- Sustitutivas (sistemas de Lindenmeyer y gramáticas de la forma)
- Basado en agentes (vida artificial, teoría de enjambres)
- Matemáticas (algoritmos, descritas en ecuaciones)
- Subdivisión espacial (voxels, subdivisión recursiva del espacio)
- Lenguajes de procesos formales (como el *reptile*)

Figura 5.7: John Frazer. Portada de *Evolutionary Architecture* 1995)

- Computación discreta paralela (poliautomata, autómatas celulares)

Su experimento del evolutionary architecture se prolonga desde hace más de treinta años. 5.7 Reconfigurar el espacio de procesamiento. Células que intercambian información. Está basado en las técnicas de autómatas celulares, de relación entre unas células y otras para el desarrollo de un sistema. Un motor generativo (esquema) incorpora o combina el entorno ambiental para condicionar a través de algoritmos genéticos, los efectos en la envolvente del modelo. Supone un grado de aprendizaje que le supone la consideración de sistema de desarrollo de Inteligencia Artificial.

En una reciente conferencia desarrollada organizada en el MIT en 2011, John Frazer expone su postura acerca del papel tecnológico y social de la arquitectura, que estima aún más necesario que en la década de los setenta.

La construcción de edificios consume energía en construir, mantener y demoler, sin restituir nada al ambiente. Los edificios, desde su capacidad productora, deberían exportar energía a una red general en vez de consumir de ella en especial en las ciudades que son ya el 50 por ciento de la población mundial. Hay que buscar el impulso tecnológico en otras disciplinas dado que la industria de la construcción opera como un lastre en la evolución de la arquitectura (por razones políticas y económicas)

Figura 5.8: John Frazer unit en la AA. *Hierarchical cellular automata* Mani Rastogi (1994)

En la tecnología de diseño, ejerce una peculiar crítica sobre las herramientas que se consideran computacionales en especial sobre el Building Information Modelling: BIM tiene un problema es que es una herramienta pasiva. No existe una transformación entre los datos de entrada y el proceso. No sirve para utilizar los datos del análisis. Sólo los enlaza. No computa. No tiene base de automatización. Eso permitiría incorporar todo tipo de criterios de selección térmicos etc. Y enlazar con bases de datos exteriores y otros edificios y otros equipos de usuarios y de técnicos.

Tenemos las técnicas que nos permiten . *“Las técnicas de computación tales como las generativas, diseño evolutivo y paramétrico, tienen el poder de ocuparse de estos problemas y están siendo usado sólo para propósitos formales en vez de para contribuir a un cambio real en el entorno natural y la sociedad”* frazer MIT 2011.

5.2.1. Computación en Arquitectura, algoritmos y otros predicados

El legado de Frazer se encuentra en una serie de líneas de investigación que recorren prácticamente todas las Instituciones académicas de arquitectura de carácter innovador. De sus propuestas proyectuales, sus libros y sus más de 600 artículos académicos beben las fuentes de toda la arquitectura de la morfo-génesis, simulaciones dinámicas, tecnologías emergentes, diseño orientado a sistemas y lo performativo.

Del mismo modo, las investigaciones que tienen que ver con el prototipaje y la creación de modelos construidos a partir de información procesada digitalmente, ha tenido una esencial influencia en la fabricación digital en tres dimensiones.

Finalmente, las técnicas de algoritmos genéticos y autómatas celulares han contribuido también a lanzar efectos derivados en otras disciplinas de

Figura 5.9: *Fitness* Muestra del trabajo del laboratorio DDRL de la AA.

las que en sus orígenes, Frazer se inspiró.

El desarrollo nodal del presente capítulo remite a los conceptos y procedimientos de diseño con base en supuestos evolutivos, en concreto cómo la incorporación de los algoritmos genéticos en arquitectura transformó el modo de entender la arquitectura como disciplina dinámica y alterable.

El procedimiento de estudio de estos cambios entraña una cuestión metodológica interesante : dado un problema o forma a resolver, no es difícil anticipar o deducir cuál es la solución adaptativa que le da respuesta. Mucho más complicado es el recorrido inverso: dado un individuo (o forma resultante), cómo se deducen las condiciones que le han llevado a ese resultado. Los biólogos están entrenados para pensar en esos términos de reconstrucción de unas hipotéticas condiciones de partida. Para los diseñadores, arquitectos e ingenieros es importante aprender de esa capacidad y ese procedimiento de diseño inverso o *reverse modelling* utilizada por genetistas y zoológicos de recreación de acontecimientos de los que deriva una forma.

Es el modo de utilizar la biología como fuente generativa y no metafórica.

Tal y como sugiere Julian Vincent en su artículo “*How can biology inform architects?*” (Vincent, 2012.) el concepto de diseño *biomimético* consiste en emular procesos naturales de optimización desde la base de la función, las operaciones necesarias para resolver una cuestión en este ámbito se pueden organizar en seis campos de trabajo: materia, estructura, energía, espacio, tiempo e información (J. Vincent 2006)

En el campo de la inteligencia artificial (recientemente rebautizada como naturaleza artificial) se desarrollan procedimientos de recreación asistida de modelos que encontramos en la naturaleza. Obviamente el procedimiento ha superado la estrategia histórica de intentar entender cómo funcionan los procesos naturales para poder reproducirlos. La estrategia en uso (o familia de estrategias) remite hoy a “aprender” de lo natural por exposición continuada a un proceso.

El matemático y filósofo Alfred North Whitehead, expondría que son los procesos los que mantienen la forma y la estructura de los organismos y que consisten estos en una serie de complejos intercambios entre un organismo y su entorno (Whitehead, 2010). Forma y comportamiento emergen del proceso. De este modo el proceso tiene prioridad sobre el objeto, (que es mutable) tanto desde el punto de vista ontológico como epistemológico.

Ampliando la noción de Whitehead desde un planteamiento computacional, los algoritmos, sobre los que se basa la construcción de la computación, se construyen como procesos. Dichos algoritmos afectan al espacio, al tiempo y al tipo (es decir, tienen una coherencia temporal y un orden formal que deriva de esas operaciones). Cuando un programa (soporte de un algoritmo) es ejecutado, dicho proceso se pone a prueba. El algoritmo es puro desarrollo puesto que puede estructurarse desde un punto de vista iterativo o recursivo, indicando evolución en el tiempo.

5.2.2. Morfo-ecología y procesos emergentes

El verdadero potencial de las técnicas de computación aplicadas al diseño arquitectónico, consiste en superar el pensamiento tipológico, orientando la práctica arquitectónica hacia procesos morfo-genéticos. Dichos procesos requieren un entendimiento del objeto arquitectónico desde la variación (la suma de posibles versiones), más que desde el tipo. Es este el vínculo y el procedimiento que nos ofrece el estudio de lo poblacional que remite a diversidad y entornos evolutivos.

Tal y como hemos expuesto anteriormente, tanto ecología como arquitectura comparten la condición trabajar con las relaciones entre organismos y el entorno en que se desarrollan. De la co-relación entre ecología y morfo-génesis emanan la morfo-ecología, un campo fructífero de investigación y generación de soluciones arquitectónicas que ponen de manifiesto la relación entre esa

Figura 5.10: John Locke. Desarrollo de algoritmo genético sencillo por subdivisión sobre modelo geométrico en Rhinoceros *Bucky was right* project (2011)

Figura 5.11: John Locke. *Bucky was right* project (2011)

disciplina y la computación.

A lo largo de estos últimos años han proliferado, en especial en el entorno de la investigación académica, una serie de líneas de trabajo centradas en estos planteamientos. La profusa realización de trabajos académicos, experimentos, publicaciones y congresos entre 2008 y 2014 sobre el tema, podría hacer pensar que el delirio de la forma biológica ha inundado instrumentalmente nuestra disciplina y condenado para siempre la figuración arquitectónica hacia lo zoomórfico.

Afortunadamente, la transformación es mucho más profunda y no puede asimilarse a un modo figurativo y formal determinado. En la variación y en la diversidad de su rendimiento asociado a cualquiera la forma, reside su auténtico valor.

Este epígrafe expone el enfoque del trabajo de varios arquitectos que han desarrollado claves del diseño arquitectónico desde estos planteamientos. Michael Hensel, Michael Weinstock y Achim Menges, cruzan investigaciones al hilo del entorno del Emergent Technologies and Design de la Architectural Association (Hensel et al., 2010; Menges; Hensel, 2012; Menges y Ahlquist, 2011; Hensel et al., 2004). Pertenecen a una comunidad de investigadores y académicos volcados en la interacción entre arquitectura, biología y computación. Desarrollan ciertos mecanismos de trabajo sobre la base de la morfoecología: incorporan atributos propios de ecosistemas naturales configuran un modo de diseñar arquitectura basado en lo asociativo, adaptativo y evolutivo.

Trazando un recorrido por sus principales líneas de trabajo, describiremos procesos que han orientado la arquitectura en la dirección de avances y técnicas de orden genético desarrollando prototipos capaces de registrar los cambios ambientales y adaptarse a ellos.

A lo largo de los últimas décadas, la arquitectura ha ido abandonando el concepto de objeto cerrado y se a decantado por trabajar el espacio heterogéneo.

Se plasma en dos líneas de trabajo principales: por un lado la que opera desde la modulación/seriación, que a partir de un prototipo genérico de módulo, combina distintas versiones en función de las condiciones de contexto. La otra desarrolla un modelo abierto mucho más complejo que va evolucionando según se transforman las condiciones del entorno. Ambas estrategias han abandonado la tendencia de diseñar desde los contornos y generado propuestas de gran complejidad y desarrollo tanto figurativo como funcional. Pero aún no está ocurriendo que la arquitectura pueda considerarse un espacio como una suma de cualidades que evolucionan en el tiempo y que se van adaptando al uso que se hace de dicho edificio. La “entrada en carga” del edificio depende realmente del modo en que las condiciones internas (el modo en que es utilizado) entran en relación con ciertas condiciones externas.

El problema es que las técnicas de acondicionamiento y construcción es-

los planteamientos de diseño de una envolvente como la del ejemplo de la 5.7, muestra un modo abierto de manejar una cuestión constructiva sencilla. La clave está en la consideración de que la envolvente esparte indisociable de el edificio completo, teniendo en cuenta no sólo exposición sino la ocupación , el estado termodinámico general, la relación con la estructura, y hasta el algoritmo de envejecimiento de la envolvente.

En vez de considerar procesos de optimización tras la construcción, en episodios separados de una secuencia, este modo de incorporar el análisis desde el comienzo, se convierte en parte intrínseca (endógena) del proceso generativo. Si planteamos un edificio como un sistema completo por ejemplo la envolvente puede generarse desde la multi-variable y ser optimizado desde objetivos de máxima eficiencia. De este modo, podemos estudiar comportamientos desde planteamientos ecológicos en un rango de complejidad

Figura 5.13: Ahlquist, Fleischmann. Special Subdivision algorithm Emergence Seminar research (2008)

aumentativa, desde el organismo individual hasta las poblaciones completas, comunidades de especies, ecosistemas y biosfera.

La identificación de la arquitectura hacia la biología se cifra no sólo en la reproducción de los procesos de generación de formas y sistemas, su construcción en un lugar y adaptación a los cambios de éste. Se centra también en los comportamientos metabólicos (gestión sostenible de materia y energía) a lo largo de su vida útil.

5.2.2.1. Morfogénesis, cultivo y diferenciación celular

Tal y como hemos descrito previamente, múltiples son los enfoques que a lo largo de la historia de la biología han incidido en el carácter funcional de una forma terminada. La morfología se orientó hace ya tiempo hacia el estudio de los procesos combinados que la originan. Esto orienta el trabajo de arquitectos hacia el estudio profundo de dinámicas biológicas en la investigación de como esas formas continuamente se diferencian, transforman y operan en relación con un entorno específico. Ese es el campo de acción de un ámbito de investigación centrado en la morfogénesis.

La morfo-génesis natural el proceso de desarrollo evolutivo y crecimiento de una forma, genera sistemas polimórficos. Estos pueden definirse como organizaciones de materia que despliegan un orden lógico de disposición y articulación a través de todas las escalas. Por contraste, la arquitectura se caracteriza por primar la forma sobre una lógica material. Bien es cierto, que la condición de construir un espacio para ser habitado amplía sustancialmente las variables de trabajo a un ámbito mayor de complejidad, pero investigar ciertos procesos orgánicos puede cambiar el modo en que se concilian forma, programa y modo de uso.

El cultivo *celular* se centra en la proliferación de células, en número y en tamaño. La diferenciación articula los procesos a través de los cuales las células adquieren función. Lo interesante es que la morfología de la célula puede cambiar drásticamente durante el proceso de diferenciación. La morfogénesis, concierne a los procesos que afectan a la distribución espacial de células en un organismo, que producen un determinado tejido, órgano o parte de un sistema funcional. El enfoque que se acomete desde un planteamiento de Morfoecología es el como un sistema material es definido por cómo responde a estímulos del entorno en cada condición material.

La intención de este procedimiento es que el diseño arquitectónico adquiera complejidad formal y capacidades funcionales en su materia constituyente sin separar forma de materialización. Esto implica la consideración de forma,

Figura 5.14: Gerald Marten. Human ecology *Basic concepts for sustainable development*(1989)

materia y estructura no como elementos separados sino como interrelaciones complejas de sistemas polimórficos que vienen condicionados por el ambiente.

El proceso se basa en el uso de la redundancia como una forma de incremento de capacidades. Sobre un módulo original, se realizan combinaciones geométricas aplicando pequeñas variaciones que responden a distintos parámetros exógenos como temperatura, tiempo, relación con el elemento vecino, y endógenas como la geometría interna, resistencia, consistencia, composición molecular y química, atendiendo a las propiedades de la materia de que están hechos.

5.2.2.2. Sistemas Materiales y Fabricación digital

El diseño arquitectónico puede acometerse desde la diferenciación (deliberada) de sistemas materiales y el modo en que se combinan, superando cualquier noción de responder a una función única. Por el contrario, hablar de “condición” amplía notablemente los atributos de un espacio puesto que remite a cualidades espaciales, ambientales, materiales, bajo el factor determinante del uso humano.

Esta *condición* se puede aprender de la biología. Por ejemplo, los sistemas biológicos transfieren sus cualidades funcionales al menos a lo largo de ocho escalas de magnitud, que relaciona los sistemas y los subsistemas. Esto quiere decir que las propiedades de un órgano en un ser vivo se pueden encontrar en las fibras que componen las distintas células que lo integran. De esta condición pueden aprender los sistemas constructivos.

Tomemos como ejemplo el modo en que se produce la inserción entre huesos y tendones, donde un tejido se transforma desplegando una configuración de fibras con un distinto grado de mineralización.

En la cubierta del estadio de Munich de Frei Otto, los elementos de transición son sobretodo una interrupción entre componentes constructivos, en vez de una especialización de un tejido constructivo. La colaboración con ingenieros biomiméticos, desvela la inter-relación entre escalas, que en las construcciones de la naturaleza siguen las mismas leyes desde la macro escala hasta el comportamiento de las pequeñas fibras. Esta condición de anisotropía ofrece fascinantes oportunidades de diseño sobre la base poder intervenir en las propiedades de la materia (la bioquímica es ya parte de las disciplinas de intercambio con la arquitectura). Incluir la dimensión molecular en el diseño llevaría las capacidades funcionales del diseño arquitectónico a una magnitud completamente inédita.

Uno de los principales ejemplos iniciales de este tipo de organizaciones lo

Figura 5.15: Frei Otto. Multihalle in Mannheim (1972)

encontramos en el trabajo de Frei Otto. (Multihalle in Mannheim) El desarrollo general es de una malla de nudos articulados, cuyos elementos son piezas rígidas. El comportamiento general es de una cáscara flexible tensionada. El proceso de construcción consiste en un engranaje de piezas sin ajustar que es izado hasta su posición de tensión máxima y allí ajustado. Entra en carga al liberar el apuntalamiento. El resultado es una lámina auto-portante con una geometría que emerge del comportamiento combinado de la suma de todas las piezas. Encontramos otros ejemplos de trabajo con elementos rígidos que conforman un comportamiento material y estado tensional emergente.

Supongamos las siguientes propiedades de la materia que pueden ser trasladados a un sistema material de orden superior, en el marco de la arquitectura.

Contención la propiedad de un organismo, de estar contenido entre límites materiales que son su interfaz de intercambio con el medio (sucesión de membranas mecánicas y sensores de orden químico)

Metabolismo dado que el propósito del metabolismo es la producción y almacenamiento de energía. Esto puede condicionar el modo en que diseñamos arquitectura. El proceso que podemos encontrar en su forma más sencilla en la fotosíntesis vegetal, ha sido modelizado para el estudio de edificios autosuficientes, generadores de energía fotovoltaica, no contaminantes, con capacidad de remediación y que puedan usar el hidrógeno como combustible.

Homeostasis Es la propiedad de los organismos vivos por la que se regula el equilibrio interno en sistemas abiertos. Requiere de sensores externos para registrar las condiciones externas y referirlo a lo interno.

Herencia implica la traslación de características físicas de un individuo a su descendencia a través de los genes. la herencia a lo largo de un proceso continuado deviene en la evolución y la generación de nuevas especies. Una cuestión esencial que es de vital importancia a la hora de estudiar la evolución genética en organismos no vivos, es entender cómo a través de la herencia cómo la información se inserta en la materia, de modo que puede transmitirse y evolucionar.

Mediante operaciones de duplicación, división, y asimilación de nuevos fragmentos, se puede determinar en el modo en que se comportará el desarrollo de sus capacidades, y garantizar que las transmitirán a todos sus herederos.

El hecho de cultivar materia, es ya un hecho en otros tantos campos. La generación de individuos celulares que pueden hacer copias de sí mismos, es ya una realidad.

Estos procedimientos (duplicación, división, y asimilación) ponen a dis-

Figura 5.16: Ahlquist, Fleischmann. matter tensional simulation (2009)

posición de los diseñadores no sólo un mundo de operaciones con la materia. Son métodos trasladables a otros componentes del diseño de espacios arquitectónicos. A través de procedimientos digitales abre las puertas de la investigación en *smart materials*, y añade una variable al diseño arquitectónico desde la capacidad de transformación de la materia constructiva. La definición de material o estructura inteligente, son aquellos objetos que perciben acontecimientos del dominio en que operan, procesan esa información, y actúan de vuelta sobre el entorno (Kroschwitz y Howe-Grant, 1992).

5.2.2.3. Geometría y Topología

Hay un esencial trabajo de anticipación del desarrollo de estas herramientas que se debe a los laboratorios experimentales de Nicholas Negroponte. Para entender el modo en que los arquitectos hemos adaptado el lenguaje geométrico que utilizamos a nuestras necesidades instrumentales, es necesario entender la importancia de las superficies curvas. Han marcado el modo en que el software asocia propiedades geométricas a propiedades materiales. Esto ha condicionado radicalmente el modo en que dibujamos superficies que contienen el espacio arquitectónico estricto, y finalmente cómo se construye el modelo a escala real.

Las superficies curvas despliegan grandes posibilidades geométricas y topológicas (topología como la rama de la matemática que estudia la continuidad propiedad que tienen los cuerpos geométricos que se mantienen sin alteraciones gracias a cambios continuos. Un espacio topológico es una estructura matemática que tiene continuidad, conectividad y convergencia) Esto incide directamente en cómo una superficie entra en carga en función de su conectividad material.

Todos los objetos geométricos pueden describirse matemáticamente desde la definición de curva. Las ecuaciones diferenciales definen distintas funciones según sea la condición plana, curva simple, o alabeada de una superficie. Casi todas las herramientas de dibujo, están basadas en dos posibles acercamientos: la determinación de cuánto se curva una línea en cada uno de sus puntos, y la parametrización, es decir formulación matemática de la función curva.

La primera forma de herramientas maneja las curvas como mera representación digital consistente en aproximar una superficie a una malla espacial de puntos, que es un método basado en procesos mucho más impreciso aún a pesar del grado de resolución de la malla. La primer forma genera herramientas con formulación matemática compleja. La modelización de superficies complejas es posible gracias a la construcción a partir de “primitivos” curvos con descripciones matemáticas tales como polinomios paramétricos *SPLines*, B-Splines líneas racionales no uniformes *NURBS*, (Non-uniform rational basis-spline), Curvas de Beziars, (curva cuyos puntos se dan por coordenadas, donde los puntos finales de la curva son los “puntos de anclaje” y los puntos fuera de la línea de los que se estira para construirla son los «puntos de control»)

La cuestión del retraso de las técnicas de construcción en relación al pavoroso avance de las técnicas de simulación y modelación de objetos y sistemas. En los últimos 10 años, esa deriva ha orbitado en torno a la fabricación digital de prototipos, hacia una nueva materialidad.

El desarrollo de la fabricación digital se pone a la altura de los programas de modelado.

Los programas de modelado basados en splines, una nueva generación de software que gracias a la nueva velocidad de procesamiento permitía la manipulación de líneas curvas directamente en la pantalla, usando interfaces gráficas tales como vectores o puntos de inserción (de control). La notación paramétrica con base de cálculo matemático es a estas alturas irrelevante, pero poco a poco surgen dos limitaciones,

1. Las splines tenían que ser funciones continuas. De lo contrario, no pueden derivarse matemáticamente, y el sistema tendría que interrumpirse
2. Las splines son variables dentro de ciertos límites dado que se formulan como funciones paramétricas.

Trazar los límites para la variación de uno o más parámetros es una opción crucial de diseño que determina la ejemplificación de una familia de curvas (líneas o superficies). Por el contrario, la idea de una notación paramétrica, abierta y genérica (al modo de Deleuze y Cache Objectile) implica la posibilidad de que diversificar la intervención de agentes en el diseño: de un lado los diseñadores de la función genérica y del otro los usuarios de aplicación concreta en un modelo definido.

Las consecuencias son que estas nociones están aún en la gramática / el tejido figurativo del diseño digital, y explican por qué las líneas continuas y las relaciones paramétricas continúan siendo hoy día el sello distintivo de la arquitectura de inspiración digital.

El diseñador ya estaba entrenado en el manejo de interfaz gráfica, pero empieza a necesitar intervenir en las relaciones internas del sistema que está generando. El trabajo de los interfaces diseñados al hilo de la Architecture Machine, bajo el equipo de Negroponte son el antecesor directo de estas herramientas. Su evolución posterior se cifra en la intervención del usuario en el cálculo, definición y manipulación de los atributos de los objetos.

Contra ciertas corrientes marcadamente críticas con la formalización resultante de los procesos digitales, cabe una explicación instrumental. Las computadoras son máquinas versátiles que no tienen predilección por ninguna formalización concreta; con cualquier programa de orden CAD (Computer aided design), se pueden incorporar procesos automáticos tanto a la generación de formas cartesianas, sólidos platónicos puros, o figuras amorfas de gran complejidad geométrica. Pero en este último caso, esas geometrías complejas no pueden sintetizarse, es decir, manejarse sin la ayuda de herramientas digitales que pueden incorporar una inmensa cantidad de procesamiento geométrico en un espacio tridimensional (lo que puede resolverse sólo operando con millones de datos de tres coordenadas).

Este campo instrumental abrió un mundo de posibilidades para las herramientas que los arquitectos manejamos en la actualidad donde la geometría es el soporte para asociar elementos. Se trata de un vehículo a través del cual se enlazan objetos con una serie de atributos y con operadores externos que contribuyen a transformar la geometría. Es el origen de todos

Figura 5.17: AA Emergent technologies and design group. Buro Happold. Rainwater canopy(2006-7)

Figura 5.18: AA Emergent technologies and design group. Buro Happold. Rainwater canopy(2006-7)

los programas paramétricos, y del dominio operativo de los programas BIM (building information modelling) que ya ha revolucionando el modo en que hacemos arquitectura. Lo que hasta hace cinco años, era una herramienta estrictamente figurativa, ha concentrado las más innovadoras formulaciones vincular espacio, materia, proceso y tiempo en una familia de herramientas en permanente ampliación y refinamiento. Unas herramientas en las que por fin se ha abierto el código genético del documento y de la arquitectura, para dejar intervenir al arquitecto.

5.2.3. Diseño Orientado a Sistemas

En este capítulo, fundamental para vislumbrar lo que creemos puede ser la deriva futura de la disciplina, se habla de la compilación de los enfoques descritos previamente en ciertas estrategias de trabajo basadas en lo computacional y lo transformativo.

La primera tiene que ver con el Diseño Orientado a Sistemas, que gestiona la información de todos los componentes y las funciones de una entidad arquitectónica como un sistema que tiene sus leyes generativas. Derivan de

ella la simulación y la anticipación paramétrica que trabaja sobre el entrelazamiento .

La segunda se refiere al Diseño Orientado al Comportamiento (performance) que se centra en el modo en que una arquitectura afecta a la distribución y comportamiento materiales y energéticas de un edificio como sistema. Derivan de esta línea las investigaciones que desarrollan garantías tecnológicas y constructivas a través de la fabricación digital.

“Los arquitectos son diseñadores de sistemas que en los últimos años han ido centrando cada vez más su interés en las propiedades organizativas de los sistemas de desarrollo, comunicación y control” Gordon Pask

Si revisamos, cuarenta años después, la consideración ya enunciada por Pask, encontramos que es más pertinente que nunca trabajar desde la integración de capas de información vinculada. Ha evolucionado hacia lo que Sanford Kwinter denomina *una visión orgánica, termodinámica e informacional de la forma en arquitectura* (Kwinter y Payne, 2008)

Tal y como hemos descrito en el capítulo cuarto, tanto Alexander, como Price o Negroponte se apartan del carácter objetual de la arquitectura y cada uno desde su enfoque particular establece marcos teóricos de trabajo basados en patrones y sistemas. En plano cercano pero distinto de estos planteamientos se instala el modus operandi globalizador de Fuller, que como hemos visto, recurre a la comprensión del trabajo del diseñador desde la totalidad.

Una vez fijados esos marcadores, ambos sistemas comienzan a emerger de las relaciones dinámicas que marca el propio diseño: Habitabilidad, movilidad, abastecimiento, gestión de energía y procesos para su ampliación o su propio desmantelamiento.

El diseño orientado a sistemas (SOD) utiliza el pensamiento sistémico con el fin de captar la complejidad inherente y encaminarla a la práctica del diseño. Es un método eminentemente práctico, lo cual requiere que lo expliquemos a través de proyectos de intervención arquitectónica concretos. Dado que la misión principal del Diseño Orientado a Sistemas es la construcción de una situación de diseño compleja, hace necesaria la intervención de una comunidad plural de diseñadores. Dado que se trata de diseñar para una actividad humana, se deben acometer de manera simultánea varios aspectos de ese preciso problema: el diseño de un “producto”, el diseño de las herramientas (simulaciones) que permiten acometerlo, el diseño de construcción y toma de decisiones energéticas junto con el diseño de políticas que ordenan todos los procesos anteriores.

En este apartado describiremos dos líneas de trabajo que acometen dicho procedimiento.

Figura 5.19: Yukio Minobe. Computational Fluid dynamics through bifurcation morphologies (2009)

Figura 5.20: Yukio Minobe. Computational Fluid dynamics through bifurcation morphologies (2009)

Figura 5.21: AA Pneumatic strawberry. Research-Achim Menges (2003)

En primer término, mostramos un trabajo más conceptual limitando los modelos estrictos de diseño hacia otros modelos generativos donde la variable tiempo es esencial para hacer un proyecto de arquitectura. Es el caso de la línea de investigación desarrollada por OCEAN, un equipo colaborativo de trabajo liderado por Birger Sevaldson (Sevaldson, 1999, 2005). Qué quiere decir un modelo generativo: aquel que puede proporcionar distintas soluciones sobre un mismo enunciado de partida. Presenta las cualidades básicas de una espécimen arquitectónico genérico que adquiere la especificidad según las condiciones externas. Como veremos más adelante es anticipatorio de planteamientos paramétricos. (a una cuestión como el cambio de configuración interna de un edificio, le ponemos a iterar sobre distintas condiciones de contorno: temperatura exterior, nivel lumínico, esto condicionará el modo en que deberían configurarse las envolventes y distribuciones internas del mismo)

Esta línea de trabajo tiene una traslación directa si la referimos al diseño de espacios urbanos. La razón es que la diversidad de un fragmento de ciudad permite identificar y operar sobre situaciones más versátiles. A una escala de barrio o tejido urbano parcial, dispondremos de distribuciones espaciales, humanas y económicas heterogéneas que responden de manera distinta a un mismo enunciado. Sin embargo, una vivienda aislada con un número limitado de usuarios no ofrece masa crítica para estudiar suficiente número

Figura 5.22: Christina Dompioti parametric fibre stress dissertation (2008)

de situaciones diversas, y por tanto no responde a situaciones de un nivel necesario de complejidad.

Es por esa razón que el escenario habitual para implementar estos sistemas necesite un mapa de acción. Se aborda desde la incorporación de otros campos de conocimiento como la ecología. Esto preconiza sistemas con un cierto grado de auto-organización. Referido a la arquitectura hace necesario entender que los componentes de un proyecto son tanto de orden humano como de orden material.

Para ello Michael Hensel revisa el método de dibujo sugerido por Jeffrey Kipnis, de reflejar la ciudad como una entidad dinámica. Cómo un dibujo puede representar no sólo indicaciones dimensionales y geométricas sino también los procesos que allí tendrán lugar: por ejemplo, en una arquitectura que pudiera reconfigurarse en función de la incidencia solar a distintas horas del día, puede reflejar las interrelaciones de actividades que se producen. Ya no se considera una ciudad como un mapas de zonas, sino como un mapa de procesos que tiene una componente de incertidumbre. Es por esa razón que debemos trabajar con planteamientos abiertos.

Esta investigación sería desarrollada en un proyecto de **Ocean North** denominado *Synthetic Landscape* (Paisaje Sintético) del que resulta la definición de *Channelling Systems*: aquellos vehículos para diseñar ciudad sobre la base de la transformación. Las principales virtudes residen en que es un método que incide en: aspectos de diseño urbano ligado a políticas de ocupación y distribución incidencia de las infraestructuras que pueden ser tratadas

Figura 5.23: Giga mapping (2009)

como elementos “variables” de la ciudad condicionan la relación entre el diseño de un plan urbanístico y los fenómenos de emergencia. la posibilidad de trabajar sobre soluciones abiertas: incorporando información y modificando diseños mientras se va planificando y ejecutando.

Un segundo aspecto a este modo de operar desde el sistema, es operar cruzando escalas y categorías. El Diseño Orientado a Sistemas sólo puede tener por objeto sistemas abiertos y continuos. No tiene sentido en un sistema discreto. Esto permite la fluidez de trabajo entre escalas, lo cual es determinante para trabajar indistintamente de la escala. Se dibuja y trabaja con las mismas cualidades ya sea un plano de infraestructuras que el detalle de enganche de un edificio a dichas redes. Para poder llevar un trabajo que cose transversalmente elementos de categorías funcionales distintas, es necesario utilizar un procedimiento modular. Éste desvela las claves por las que están relacionados. El Diseño Orientado a Sistemas se inspira en los Sistemas de Pensamiento Crítico; un desarrollo mejor informado y mas sofisticado que incorpora conceptos de autores como Christopher Alexander (propone modelos de relación siguiendo patrones de relaciones humanas) o Deleuze Y Guattari (insisten en la condición rizomática de la distribución humana en ciudades).

Con el fin de obtener la necesaria comprensión del sistema complejo, es necesaria una fase completa de captura de datos y análisis. Resulta esencial la aplicación de métodos y técnicas de otras disciplinas incluyendo por ejemplo los estudios etnográficos, análisis de riesgos, y el pensamiento “escenario”. Debemos incluir, como específicos de este enfoque del Diseño Orientado a Sistemas:

- GIGA-mapping (el diseño del espacio enriquecido)
- Arquitecturas Auxiliares
- Técnicas de incubación

Giga mapping, o gestión de masas de datos que pueden tener una traducción formal en un territorio. Un gigga map es una visualización de procesos. define los “límites” del sistema de estudio (lo cual implica determinar el sentido del sistema) define el papel del usuario en el diseño (stakeholder)

Figura 5.24: NORDES. Birger Sevaldson Giga mapping (2013)

define áreas de intervención e innovación desplegando oportunidades tecnológicas.

Arquitecturas Auxiliares, término acuñado en el entorno académico de la Universidad de Oslo, al frente del cual se encuentra Birger Sevaldson. (*NORDES*). Se trata de una solución construida transitoria en lugares en construcción o ya construidos. Se ejecuta como apoyatura temporal para solventar carencias funcionales, constructivas, de intendencia, administrativos, legales.

La incubación es una de las 4 etapas propuestas de creatividad: Preparación, incubación, iluminación y verificación [9] Las técnicas de incubación son técnicas utilizadas por el diseñador con el fin de adquirir los conocimientos previos necesarios para poder diseñar un producto.

El diseño orientado a sistemas desde la perspectiva del diseño sostenible... enlaza directamente con el concepto del entendimiento del mundo como una visión completa y ecológica cuyo referente de organización siguen siendo los sistemas naturales.

5.2.4. Diseño Orientado a lo Performativo

Realmente el *Performance Oriented Design* es una traslación a la dimensión material y energética de los planteamientos que ya se establecen en el epígrafe de Diseño Orientado a Sistemas. No es un enfoque nuevo, dado que encontramos ya una definición en el número de 1967 de *Architectural Journal*, denominado *Performance Design*. Pero la relevante revisión del tema tiene lugar al asimilar el objeto de trabajo a una entidad material con capacidad de ejercer un determinado rendimiento, sujeto a las leyes naturales del metabolismo. Es para ello necesario acometer el ejercicio de desagregar la forma de la función. Si pensamos en el radical enfoque de D'Arcy Thompson, no deja de proponer modelos excesivamente lineales, con pocas opciones de desarrollos paralelos. En su mano no estaba el proceder a análisis de rendimiento, y su planteamiento es más bien de orden paleontológico. De tener las herramientas de optimización y simulación actuales, es bastante posible que sus esquemas hubieran evolucionado hacia una separación de forma función tan causa efecto en la morfología.

En esa línea, Uno de los investigadores más comprometido y conocido sobre este tema es Jeremy Rifkin, que habla de la Tercera Revolución Industrial (Rifkin, 2011). Idea central de Rifkin es la creación de un régimen de energía renovable, cargado por edificios, parcialmente almacena en la forma de hidrógeno, distribuidas a través de una internet energía conectado para enchufar cero emisiones el transporte. Rifkin resalta 5 pilares para esta transición: para hacer performativo el sistema general del mundo

- El cambio a las energías renovables (solar, eólica, hidráulica, geotérmica, mareomotriz y biomasa)

- Edificios se convierten en centrales productoras
- Implementación de hidrógeno y otras tecnologías de almacenamiento en cada edificio y en todas las infraestructuras para almacenar energías intermitentes
- El uso de la tecnología de Internet para transformar la red de energía de todos los continentes en una energía compartir interconectada que actúa como el Internet
- La transición de la flota de transporte eléctrico cambiará el paisaje , enchufar y vehículos de pila de combustible que puede comprar y venta de electricidad en una red eléctrica inteligente interactivo continental.

De esta visión aparentemente utópica, (hay que discutir este punto en lo que concierne a la evolución que arrastra un cambio tan radical; lo negativo de dejar sistemas completos obsoletos. Hay que hacerlo de manera gradual para no dejar vacío de contenido grandes sistemas productivos operantes). Se pone de manifiesto una cuestión que es definición directa de lo que quiere decir performativo. Una de sus cualidades es, de nuevo, la escala. Esto tiene que ver con el hecho de la **modulación microclimática** de pequeñas operaciones. Tiene que ver con operaciones geométricas y materiales a pequeña escala, que pueden llegar a desarrollar un importante efecto termodinámico en un régimen local.

Aparecería también una dimensión auxiliar de la arquitectura. La condición sanadora de lo micro tiene una relevancia crucial puesto que tiene una cualidad de propagación a lo largo de todo el sistema.

Revisa el diseño orientado a objetos, puesto que acredita propiedades de transformación a la materia. El problema reside en entender la entrada en carga de los elementos de un edificio sin sacrificar la idea de sistema enlazado; sobre la base de un sistema discreto, no es posible comprender la verdadera condición continua de un edificio. Tal y como lo expresa Frei Otto: *Cualquier construcción es un medio auxiliar, no un fin en sí mismo.*

Esta revelación, presenta la oportunidad de superar el concepto de los edificios como entidades o procesos discretos, y repensarlo desde una perspectiva de auxiliaridad. El concepto de auxiliar, es descrito por Michael Hensel en su trabajo sobre *Performance Oriented Design*, en *Design Innovation for the Built Environment*. En él describe varios grados de sistemas auxiliares:

- Dimensión Auxiliar de primer grado. Aquellas construcciones con capacidad de incrementar la eficacia de un sistema superior (ejemplo del puente de Rialto, Venecia)
- Dimensión Auxiliar de segundo grado. Tiene que ver con la suplantación de funciones de manera temporal o en remediación de una fun-

ción temporalmente suspendida. Modulan las condiciones bioclimáticas cuando no es posible cambiar la estructura o configuración de lo construido.

Este aspecto tiene que ver con que la puesta en carga del rendimiento material de un sistema, es una cuestión activa. No pasiva. Depende directamente de su capacidad de reaccionar a un estímulo primario. Para diseñar de modo multiescalar la primera de las técnicas es el acercamiento al lugar geográfico, el medio estrictamente físico de intervención. Por eso recurrimos a procedimientos como el *Computing topos*: topos se identifica 'lugar' ('topos' pero no sólo como localización sino como versión aumentada de circunstancias climáticas, sociales, políticas) y su radical transformación en los recientes años debido a la proliferación y disponibilidad de parámetros ambientales. Saliendo de la noción de computing -entendido como un proceso informático- serán propuestas las estrategias de data *mining* e *indexing* como lecturas y etiquetado de condiciones del lugar y el territorio.

El trabajo de proyectar desde un acercamiento orientado a sistemas implica el cruce de datascapes para alimentar las macro y micro escalas. En la primera parte, se trabaja en la macro escala desarrollando lecturas cartográficas de la ciudad con el uso de GIS software. Más adelante, esos estudios cartográficos serán informados a través de mecanismos de retro-alimentación entre ambas escalas.

Además de las lecturas que pueden ser registradas por "estaciones de clima" es importante la incorporación de otros parámetros ambientales y geográficos locales que matizan futuras acciones y expresiones arquitectónicas. Se utilizan distintos métodos para recopilar e implementar información invisible que reside en las condiciones sociales. La captura de data 'local' será realizada a través de sensores, simulaciones de lugares específicos y RSS feeds (Rich Design Research Space), los cuales serán utilizados para capturar información de la red.

5.2.5. Arquitectura Paramétrica. Modelos Auto-organizativos

La variación de parámetros, en respuesta a la ejecución repetida de un algoritmo, es la base de la computación. Ya en el siglo XIX los trabajos de Charles Babbage y Ada Lovelace proponían ya máquinas analíticas basadas en algoritmos, que funcionaban mecánicamente en bucle, es decir, tenían la capacidad de alimentar el proceso con sus resultados previos.⁵ Tal y como John Frazer anota⁶ en lo referente a *Architettura Parametrica*, el concepto y el uso del término son muy anteriores al momento en que los ordenadores

⁵ver cap 2, 2.2.1. Historia de la Computación

⁶John Frazer en conversación con la autora comenta el trabajo de Luigi Moretti *Struttura come forma*, publicado en 1951 donde describe su trabajo paramétrico anticipatorio de 1940

Figura 5.25: John Locke. Grasshopper (2013)

tuvieron capacidad para realizar las operaciones matemáticas necesarias. De hecho, el primer referente que encontramos en el trabajo de Luigi Moretti entre 1940-1942.

Moretti investigó la relación entre el diseño arquitectónico y las ecuaciones paramétricas, inicialmente sin ordenadores, pero en la década de los sesenta, ya con la ayuda de un computador 610 IBM desarrolla la geometría y el programa asociado para un estadio referido en la exposición *Architettura parametrica* en la trienal de Milano 1960. Ver figura de la maqueta 5.27 (cite David Daniels) 5.26 En la portada de la revista *Spazio* de ese mismo año, se incorporan dibujos, y un artículo sobre el procedimiento de diseño siguiendo fórmulas matemáticas paramétricas.

El diseño paramétrico tal y como es entendido en la actualidad no es, en lo fundamental, diferente a los conceptos manejados por Moretti, aunque la terminología ha cambiado. El *diseño* paramétrico es dependiente de un *modelo* paramétrico, Patrik Janssen define ese modelo como *un algoritmo para generar modelos consistentes en una geometría que tiene asociados atributos (...) Este algoritmo emplea funciones y variables, tanto dependientes como independientes. Algunas de las variables pueden adquirir un papel predominante como interfaz con el modelo paramétrico; nos referimos a ellas como parámetros del modelo*

Es fundamental hacer una aclaración que fundamenta el uso generalizado

Figura 5.26: Portada de la revista Spazio, (1960)

Figura 5.27: Luigi Moretti. Proyecto para estadio. Triennale de Milano (1951)

de dichas herramientas en el ámbito del diseño arquitectónico. El uso de dicho algoritmo no está asociado a ninguna geometría definida ni a ningún estilo formal concreto puesto que establece relaciones entre elementos. De hecho, los parámetros formales que elige el arquitecto, en virtud de despliegues formales determinados, son tan sólo una pequeña parte de los parámetros de información del sistema. En concreto, el uso de modelo paramétrico no repercute en ningún estilo, sino sólo a un modo flexible y eficiente de describir una geometría.

El diseño paramétrico es un proceso basado en las relaciones entre los objetos de modo que al aplicar un cambio en un único elemento sus efectos propagan los cambios correspondientes en todo el sistema. Equivale a un modelado asociativo y las funciones paramétricas en un programa permiten la geometría variable pero no conducen en sí mismas a la generación de forma.⁷

Como hemos descrito en el capítulo anterior, los referentes de trabajo de la Arquitectura han ido derivando hacia un tipo de enfoque de organismos entrelazados que se regulan unos a otros. Esto se debe a la simulación de dicha arquitectura como sistema de auto-organización con capacidad de equilibrarse en función del contexto (autopoiesis) (Schumacher, 2011, 2012); generando modelos sostenibles.

La tarea hoy para los diseñadores consiste en articular la matemática y los procesos potencialmente útiles tanto desde el punto de vista de incorporarlo al conocimiento de la disciplina de la arquitectura, como en la aplicación directa al diseño. La generación de un **modelo paramétrico** trasciende los procedimientos clásicos de proyectar desde una abstracción geométrica a la que se infieren unos atributos materiales. Por primera vez la generación de un modelo completo, dinámico y evaluable en tiempo real proporciona nuevas posibilidades que descartan el concepto de tipo volcándose de lleno en el de prototipo(s). El modelo único y estático se sustituye por un modelo múltiple y simultáneo.

El arquitecto diseña las herramientas que necesita, las modifica, transfiere, invierte y evoluciona. Pasa de ser el usuario de una herramienta (que puede ser muy sofisticada) a ser el programador de dichas herramientas, en función de lo que la arquitectura demanda.

De un sistema completo que ya vislumbraba Gordon Pask, nos trasladamos a un sistema auto-organizativo con resultados formales espectaculares. Mark Wigley (Wigley, 2007)

El Parametricismo es una forma más versátil y adaptable de diseñar. Puede funcionar desde abajo hacia arriba, es decir, como un proceso emer-

⁷El trabajo de John Frazer sobre las posibles variaciones geométricas de una columna dórica que después de diversas iteraciones se convierte en una jónica

gente, por ejemplo, cuando se usa programación generativa o sistemas basados en agentes. El modo convencional (heredero del movimiento moderno) en cambio, es siempre un proceso deliberado, desde arriba hacia abajo, ya sea por agregación desde adentro o por substracción y división desde fuera. Sus elementos compositivos primarios son los mismos que los de la arquitectura clásica: figuras geométricas rígidas como cubos, cilindros, esferas y pirámides y sus composiciones, por lo tanto, está siempre restringido a un puñado de estas figuras. En el Parametricismo, en cambio, todos los elementos pueden ser paramétricamente relacionados. Esto les permite adaptarse a los elementos con los que se hayan vinculados así como también a las condiciones de su contexto. En lugar de repetición, este estilo promueve la diferenciación y en lugar de simple yuxtaposición, la correlación. Cada acción convoca una reacción, es decir, la deformación codifica información. Todo esto contribuyó al gran logro del Parametricismo: la intensificación de las relaciones al interior de un edificio y de éste con su contexto, lo que responde a la creciente y cada vez más compleja demanda de la sociedad por comunicación.

En arquitectura, desplegar el control paramétrico sobre una forma aparentemente ingobernable, se utilizó inicialmente para racionalizar geometrías complejas. Un caso típico de estudio, como comenta Moretti, es una superficie no reglada, de doble curvatura (alabeada) que en modo matemático se define como un sistema sencillo de vínculos entre funciones de curvas. Como Los datos geométricos están contenidos en el modelo, cualquier operación sobre esa geometría se realiza de manera muy sencilla. De la noche a la mañana era posible dominar y operar sobre modelos geométricos de enorme complejidad, incluso entrar a intervenir en su capacidad de reacción a cambios de orden estructural.

En su obra *Autopioesis of Architecture. A new frame for Architecture*, convertido ya en un tratado esencial como una filosofía general de diseño, Schumacher compone una tesis fundamental sobre el diseño arquitectónico desde planteamientos de sistema auto-organizado. Puede asimilarse a una rigurosa y nueva “Teoría General de Sistemas” que retoma el legado de Bertalanffy y Fuller desde el punto de vista de las relaciones con los procesos biológicos apoyados en la matemática paramétrica. A lo largo de las veinticuatro *tesis* que exponen el escenario, se desgranar las claves para una refundación de la disciplina. Quizás un empeño enciclopédico de encauzar una transformación completa del modo de diseñar y construir arquitectura desde planteamientos de investigación y reconfiguración formal. No se trata sólo de la búsqueda de un nuevo estilo o lenguaje formal, sino de cómo esa forma es considerada como el *medio* que genera arquitectura. Medio como dibujo y prototipo.

Aunque puede discutirse la relevancia de su aportación proyectual a través de su trabajo junto a Zaha Hadid, Schumacher ha sido permanentemente criticado por su excesiva devoción a los formalismos, desde una crítica feroz a

la desconexión entre sus propuestas teóricas y su propia consecución arquitectónica. En preparación se encuentra un trabajo denominado Parametricism 2.0 que supone un cambio trascendental en el enfoque, mucho más enfocado a la relevancia del diseño relacional en pos de un diseño desde cuestiones mediambientales.

El trabajo de Schumacher y los laboratorios derivados de la *Autopiesis*, como *theverymany*, han significado el avance radical en el modo en que la disciplina se relaciona con la industria y con las técnicas constructivas. Esto es absolutamente relevante y marca un mundo de relaciones que trasladan lo formalmente cuestionable a lo fehacientemente construido.

Es fundamental entender que lo digital tiende a lo liviano a liberarse del peso de los datos que se depositan en grandes repositorios mientras el mundo se concentra en incrementar la velocidad de procesamiento y conectividad de los mismos. La generación de un modelo paramétrico trasciende los procedimientos clásicos de proyectar desde una abstracción geométrica a la que se infieren unos atributos materiales. Por primera vez la generación de un modelo completo, dinámico y evaluable en tiempo real proporciona nuevas posibilidades que descartan el concepto de tipo volcándose de lleno en el de prototipo(s). El modelo único y estático se sustituye por un modelo múltiple y simultáneo.

Otra de las consideraciones fundamentales del diseño paramétrico es que los parámetros son de muy diversa índole: no son solo consideraciones geométricas sino también valores relacionados con propiedades materiales, datos termodinámicos o atributos químicos, que se vinculan al modelo físico.

Una arquitectura relacional supone ajustar y extender los parámetros de un sistema algorítmico más allá de su rendimiento formal o estructural para hacerlo más inclusivo incorporando condiciones de rendimiento social y cultural. Sólo mediante la inclusión de las condiciones de contorno dentro de una red de relaciones diversa se puede conseguir una arquitectura relacional.

Varios son los atributos fundamentales del diseño sobre modelos paramétricos :

- propicia procesos que discurren en paralelo alimentándose mutuamente, sin jerarquías ni orden de intervención programados.
- Es un sistema complejo que abre el espectro y naturaleza de valores: espacio, materia, estructura, orden de ejecución, energía, valores industriales, económicos y políticos.
- Propicia el pensamiento divergente que maneja varias soluciones simultáneas conciliando la creatividad y optimización
- Es reactivo a las condiciones del entorno, modificándose ante datos de distintas naturaleza: ambientales, materiales, energéticas, y geográficas.

- Admite la posibilidad de insertar aplicaciones dinámicas externas tanto de evaluación como de experimentación del modelo. Es un modelo de diseño abierto y por lo tanto ampliable.
- Incorpora las claves de su propia evaluación.

Es ahora pertinente una reflexión sobre el manejo de estas cualidades directamente trasladadas al diseño de un espacio arquitectónico. En qué consiste el proceso y cómo lo utilizamos los arquitectos.

Por razones obvias de relación con la matemática, no existe una única herramienta. Cualquier matemático puede inventar una familia de relaciones paramétricas y acomodarlo a un lenguaje de programación. Esto convierte al modo de diseñar en una estrategia abierta tan flexible como ampliable.

Pero cualquiera de los programas basados en este tipo de programación son claramente paramétricos. No está vinculado a un software determinado. El de uso más común, debido a su interfaz gráfica es *Grasshopper*, que es evolución de *explicit story*. GH es un operador sobre una geometría concreta que en su mayoría provienen de programas sofisticados de geometría como *Rhinoceros*.

Sólo hay una consideración que hacer que tiene que ver directamente con las cualidades de la programación. Por limitaciones de procesamiento, GH procesa por encima de Rhino, y esto implica que no puede ser un programa recursivo, de modo que hay que alimentar manualmente los datos cada Es por esta razón que no es un programa generativo.

En el caso de un programa generativo se dan unas condiciones ligeramente distintas aunque vinculadas conceptualmente a lo paramétrico. Desarrollar un concepto arquitectónico como forma genérica y universal que pueda expresarse en una variedad de estructuras y configuraciones espaciales que responden a distintos entornos: se diseña sobre la base del conjunto de prototipos posibles (frente al desarrollo del tipo). El arquitecto identifica los parámetros agentes causantes de la identidad de los prototipos y lo pone a cultivar... programa y diseña a un tiempo, lo cual es un salto nodal en el modo que los arquitectos hemos utilizado las herramientas para especular y generar conocimiento en vez de resolver o confirmar una certeza. Se puede insertar patrones de crecimiento y simulación de procedimientos evolutivos.

Es necesario proceder analizar el diseño paramétrico desde supuestos ecológicos. El parametricismo explora ciertos principios de reversibilidad sobre los parámetros estudiados de modo que el proyecto transforma el contexto en el que se inserta.

El modo de trabajo con programas paramétricos modula el compromiso con un comportamiento sostenible. El impacto ecológico sobre la arquitectura y el urbanismo contemporáneos se sitúa sólo después del desafío planteado por la dinámica mecanicista.

Ciertamente, el paradigma general de los “sistemas ecológicos” se aplica a

ambos, y está considerado como paradigma fundacional del Parametricismo. Los mismos conceptos de diseño, técnicas y herramientas que permiten a los arquitectos contemporáneos intensificar la complejidad de información del entorno construido, son también adecuados a la agenda de optimización de formas arquitectónicas en relación a criterios ecológicos.

El cómputo de resultados morfológicos variables pueden ser programados para responder a parámetros medioambientales. Por ejemplo, un sistema de datos, como un mapa de exposición solar que entrega las intensidades de la radiación a las que una fachada está expuesta durante un tiempo determinado, puede transformarse en información para la modulación adaptable de un sistema de sombreado: a medida que este sistema envuelve la fachada, la forma, distanciamiento y orientación de los elementos individuales se adapta gradualmente a las condiciones específicas de exposición en cada zona de la fachada. El resultado es un gradiente, un patrón que cambia continuamente para optimizar la protección solar de acuerdo a la entrada de luz. Al mismo tiempo, esto le otorga al edificio una estética orgánica que hace además legible su orientación en el contexto, facilitando la comprensión y navegación en el medio ambiente urbano: la fachada contiene y transmite información acerca de su posición en lugar de permanecer indiferente y ciega. El mismo principio está siendo aplicado a la actividad y parámetros del proceso de vida urbano. La desorientación, neutralidad genérica y monotonía del Modernismo da espacio a la elocuencia y adaptación ecológica del Parametricismo.

5.2.6. System City. Ciudad Emergente

El bloque temático con el que concluye esta tesis se centra en las adecuaciones del diseño paramétrico al diseño de sistemas a escala territorial. Es en el trabajo sobre ciudades, el entorno humano por excelencia, en donde es más fructífero el desarrollo de modelos evolutivos puesto que posee los grandes atributos que se han ido describiendo a lo largo de los capítulos previos: es un entorno poblacional y diverso, con dinámicas evolutivas cuantificables, donde puede testarse el trabajo de una comunidad plural de expertos y de usuarios.

Un cambio radical se lleva a cabo en la forma en que la sociedad está pensando en ciudades. Un abandono de las metáforas de la máquina del siglo XX en favor de modelos matemáticos que reproducen procesos biológicos. Desde esta nueva perspectiva, las ciudades se consideran entidades materiales activas, no sólo extensiones espaciales de construcción, sino como sistemas complejos análogos a los organismos vivos, desplegando muchas de sus características. Una visión emergente de que el diseño de los miles de nuevas ciudades necesarias para alojar una población mundial en expansión han de fundarse en sistemas de infraestructura inteligentes y habitados o “arquitecturas de flujo” de metabolismos urbanos. Los arreglos físicos de la arquitectura de flujo de la ciudad están íntimamente conectados a las redes

de los sistemas auxiliares que recogen y distribuyen energía, materia e información. Alimentan las necesidades de la ciudad, y por lo tanto deben estar íntimamente acoplados a los patrones espaciales y culturales de la vida en la urbe, a los espacios públicos por los que discurren las personas, y deben unir en lugar de dividir los sistemas morfológicos y ecológicos urbanos.

Tal y como describe Michael Weinstock⁸, la evolución de la ciudad como sistema hace necesario su análisis y diseño desde planteamientos generativos y paramétricos, siendo ya imposible el diseño de ciudades desde tácticas estrictamente zonales.

La ciudad puede modelizarse como un sistema complejo del que emanan fenómenos de emergencia. Sólo desde una escala lo suficientemente amplia, se pueden identificar fenómenos de inteligencia colectiva, que se propician desde el diseño y que no es posible si consideramos la trama como suma de edificios aislados.⁹

Uno de los procedimientos que incorpora es la indexación que son ya el modo natural en que se conciben y describen los fenómenos en las ciudades. Se trata de un procedimiento que ordena por mapas de contenidos distintos aspectos de una ciudad (geológico, hídrico, climático, termodinámico, o también demográficos, económicos, culturales, políticos) de modo que todos ellos componen una misma entidad temática. De esta manera se gestionan esos rasgos de la ciudad como sumatorio de capas, pero por ser indexadas permiten permear, trasladar información de manera dinámica de unas a otras.

Para gestionar esos índices de información simultáneos, las herramientas paramétricas son especialmente operativas puesto que las variables necesarias para escala de territorio se manejan con gran facilidad en Grasshopper (entre otros). Dado que los programas paramétricos operan como un plug-in que procesa aparte del programa del modelo geométrico, permite modelizar comportamientos sin el peso de mover todos los datos vectoriales de una geometría compleja. Por un lado, permite gestionar grandes cantidades de información sobre un modelo externo de una trama de ciudad, como procedimientos Giga-mapping que ya se gestionan fuera del modelo físico. Disocia procesamientos de información en paralelo, que luego vuelve a integrar.

La ciudad contemporánea, se funda sobre la base de lo no duradero. Se rechaza lo estable para recurrir a procesos de diseño capaces de gestionar la inestabilidad de la vida contemporánea, que adquiere su forma por el movimiento constante. La ciudad reserva “espacio” (y programa) para una transformación futura, puesto que crea y recrea su propio espacio de producción.

⁸Weinstock, Michael, *System City*, AD 2014

⁹Foucault acuña la noción de ciudad como “archivo”; El archivo es, el sistema de las condiciones históricas de posibilidad de los enunciados como la infraestructura intelectual y social de una civilización al tiempo que un tejido continuo, independiente, material y conductista. Es el escenario de la asamblea, de lo que emana de lo colectivo.

Figura 5.28: Joan Busquets and Felipe Correa (2006)

Figura 5.29: Daniel segaves, Data city, Urban energy data model Chicago (2011)

Esto orienta el trabajo de arquitectos y urbanistas hacia la práctica de diseñar el ámbito de lo urbano, desde parámetros de evolución y simulación. Sumatorio de procesos entrelazados (redes distributivas, generativas y en permanente renovación). Consideremos la Ciudad: Una ciudad es una entidad compleja no discreta, regida por procesos entrelazados.

Entender lo que se ha hablado de planteamientos poblacionales y evolutivos, ¿qué aplicación tienen en el ámbito de la ciudad. ¿Admite la ciudad el atributo de **Resiliencia**? ¿Tiene capacidad de recuperación? ¿qué modelos pueden trabajarse para elaborar ciudad desde estos supuestos?

Las ciudades necesitan cambiar para sobrevivir. Como seres vivos, están permanentemente renovando sus células, refinando sus redes de suministro, e inyectando energía y materia, al tiempo que gestionan sus residuos. Las ciudades poseen una intrínseca capacidad adaptativa y es por ello que son uno de los sistemas complejos más versátiles en los que poner a prueba el diseño de procesos. Extrapolando esta idea a escala urbana, es que los diseñadores tienden a ver la ciudad como una entidad emergente y viva con casi personalidad antropomórfica. La metáfora describe correctamente a un organismo como un entidad completa al tiempo que como una aglomeración de sistemas fluctuantes pero también mezcla inteligencia con emergencia.

Muchas ciudades eran en origen una colección de pequeñas zonas urbanizadas desconectadas. La población se encargó de fundirlas en entidades más complejas. Lo que fueron paisajes vacíos entre núcleos desconectados,

Figura 5.30: Moussavi, Nasseri. AA Emergent Technologies(2010-12)

ahora son redes extensas surcadas de flujos de tráfico e interacción social. De este modo el diseño de redes de calles y la distribución de construcciones se convierte en tejido conectivo y asegura que la densidad es adecuada a las necesidades. Ese tejido puede convertirse en un regulador de el desarrollo/-desahogo de los núcleos originales.

Ordena la transición entre tejidos consolidados mediante un tejido integrador que encapsula, cultiva un enorme número de fenómenos sociales, económicos y espaciales que emergen de un sistema complejo. Define las fronteras entre una serie de elementos desgajados y un sistema general en el que cada elemento tiene algún grado de conexión con el sistema general. Diseñar el entorno humano ya no es una cuestión de la definición de tipos aislados de edificio, infraestructuras, territorio, población; se trata más bien de propiciar mediante diseño de la inserción de pequeños cambios dentro de un sistema complejo. La arquitectura, junto con el urbanismo son cada vez más conscientes de su condición como una disciplina de *diseño orientada a sistemas*, y han experimentado un cambio de paradigma y de dirección en el objeto de su trabajo desarrollando el lenguaje, las herramientas de diseño, y las alianzas con otras áreas del conocimiento necesarias para ello.

5.2.6.1. Ejemplo de aplicación de diseño paramétrico urbano

El siguiente apartado muestra un experimento que al hilo del trabajo doctoral, se llevó a cabo en un entorno urbano. Tuvo lugar al hilo de la programación del laboratorio Ciudad desvelada realizado en la casa del Lector de Matadero de Madrid en enero del 2013. Se planteó como experimento que unía el diseño paramétrico con prácticas de participación de los ciudadanos del barrio.

Los Directores del mismo fueron José Ballesteros y Paula Montoya, ambos profesores de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

El resultado del citado taller se presentó en el congreso Internacional de Urbanismo BIA en Bilbao, en septiembre de 2014 y más tarde una versión revisada, en el European Geosciences Union Conference, en abril de 2015. Para esas publicaciones, se incorporó en las labores de programación a Pablo Gervás, profesor titular del departamento de ingeniería del software de la Facultad de Informática de la Complutense de Madrid.

El enunciado combinaba el uso de diseño paramétrico y métodos de crowdsourcing como experiencia compartida entre alumnos de la escuela de arquitectura de Madrid y los vecinos del Barrio de Arganzuela. 5.31

El objetivo era la elaboración de mapas relacionales, una cartografía indexada de datos recopilados a través de la contribución tanto de estudiantes como de ciudadanos anónimos. Sober un mapa cartográfico convencional se fueron rastreando datos del barrio que normalmente pueden considerarse invisibles, es decir no aparecen en ninguna cartografía oficial; temperaturas,

Figura 5.31: Diagrama del entorno Urbano en Arganzuela 2013

Figura 5.32: Incorporación de parámetros del taller. Arganzuela 2013

usos, memoria, basuras, restaurantes por temas, itinerarios vecinales, etc. Se procedió a un registro de información no evidente de la zona, colaborando en la generación de una *ciudad desvelada*.

El trabajo, que se desarrolló en cinco grupos, desarrollo una colección de veinte mapas de los que se reflejan a continuación unos ejemplos, utilizando la herramienta de Grasshopper para analizar las relaciones entre datos. Se ejecutaron una serie de modelos tridimensionales del barrio sobre los parámetros elegidos junto con los vecinos. El documento de partida de ese experimento era un mapa vectorial de Open Street Map, que es un servicio de mapas georeferenciado editable por ser open source. 5.32

Finalmente se combinaron todos ellos en un documento dinámico cuyos datos se volcaron de vuelta al mapa original de OSM y están aún disponibles para cualquier usuario.

Las conclusiones extraídas del experimento permitir elaborar una lista de beneficios al diseño en las condiciones de contorno descritos por el enunciado del experimento:

Este taller desarrolló una herramienta generadora de mapas vinculados cruzados: la idea era la realización de contra-cartografía como una colección de mapas que, puestos a trabajar en conjunto, revelaran condiciones territoriales que no se muestran en los mapas oficiales. Mediante el uso de herramientas paramétricas se pudo incorporar esa información directamente en los documentos de arquitectura, construir nuevos atributos y generar cambios entrelazados en el diseño. 5.33

- Incorpora el análisis dinámico.
- Permite la inserción de elementos de distintas naturalezas , y el estudio de la suma de los mapas como un ecosistema en el entorno urbano
- Vincula con sencillas relaciones matemáticas las partes y el todo; la modificación de elementos locales permite propagar los cambios al sistema general
- Describe también los atributos de adaptación y mutabilidad en el tiempo.
- Es escenario de convergencia de diversas disciplinas (con documentos tanto vectoriales como escalares)
- Es un formato idóneo para el trabajo colaborativo.

Como consecuencia de los resultados del experimento, es posible colegir que los mapas relacionales cambian la notación tradicional de elementos geográficos en los objetos mutables construidos. El trabajo de los arquitectos, planificadores y agentes políticos es así mejorado gracias a las contribuciones

Figura 5.33: Definición de Grasshopper del modelo de estudio. Arganzuela 2013

de una comunidad de voluntarios cartógrafos. No es aventurado afirmar que con prácticas de esta naturaleza el trabajo con mapas se está convirtiendo en el documento final para el diseño de la ciudad de una manera integrada.

El trabajo descrito se presentó en el congreso EGU en Viena. El poster utilizado aparece en la Figura 5.34.

La Arquitectura se torna recipiente para la comprensión cognitiva del mundo de manera tridimensional y dinámica.

Lo que tiene que ver con el diseño evolutivo significa que a través de la computación se incorpora un mecanismo para predecir, explorar y evaluar nuevas posibilidades en arquitectura. Es un desdoblamiento del proceso creativo, que lo intensifica no lo sustituye, porque se ocupa de procesos de orden mecánico que dejan más espacio para el lugar conceptual y netamente constructivo. Desde la arquitectura hablamos de simulaciones, que dan como resultado familias de soluciones. Tras la extracción de varias soluciones adecuadas, se vuelve a repetir el proceso para ampliar búsquedas y afinar variaciones: la secuencia de una simulación es: una vez obtenida una secuencia de soluciones se aplican criterios de evaluación basados en la introducción de condiciones específicas del entorno. Sobre los resultados, se aplican las decisiones personales y subjetivas del diseñador que conducen a la solución final.

De este modo, llegar a un resultado es incorporar mecanismos de optimización sobre los que el diseñador insertará sus criterios de creatividad e intuición.

Durante los últimos veinte años, los cambios en la tecnología digital han orientado el discurso y la praxis de la arquitectura hacia consideraciones de la forma desde su articulación material y el dominio de la complejidad

Figura 5.34: Poster congreso Viena

geométrica. Superando la fascinación inicial por la versatilidad de ciertas herramientas para resolver complejos formas, entramos en un momento de maduración en el que la investigación ha girado hacia construcciones factibles desde la eficacia de la estructura, la materialidad y el rendimiento.

Esto originado un creciente interés en el potencial de las estructuras en red no sólo a nivel organizativo sino en su capacidad de introducirse en campos de creatividad y diseño. Desgraciadamente han ido más rápido disciplinas como la biología, el rastreo de las redes neuronales, el mapeo del genoma humano o el estudio psicológico de masas.

Es necesario enfocar este campo en una nueva dirección. Construir nuevos vectores de investigación. Tomando una de los atributos principales: se trata de un campo de posibilidades para la práctica de la arquitectura que implementa modos de diseño y producción distribuidos. Partiendo de la circunstancia de que habitamos en un entorno netamente conectado.

Orbita en un enfoque creativo capaz de relacionar pensadores y pensamientos de distintas disciplinas. Realmente no existe ya ningún entorno que no forme parte de una u otra red, y no es posible diseñar objetos o sistemas desde planteamientos aislados. Pero como diseñadores nos enfrentamos con curiosidad a como las nuevas tecnologías ponen a prueba y crean nuevos órdenes sociales y culturales. Como Castells nos recuerda, el diseño nunca es neutral, y juega un papel decisivo en la creación y mantenimiento de redes humanas que procesan y gestionan información.

Capítulo 6

Conclusiones

La Arquitectura, una disciplina naturalmente compiladora de saberes, reclama la incorporación de procedimientos científicos y sociológicos para avanzar en el tiempo. En el momento actual, en que se redefine el papel de la arquitectura para la supervivencia equilibrada de la especie humana en un planeta de recursos limitados, es necesario asumir que su objeto de trabajo no es tan sólo el diseño de edificios y ciudades, sino que éste trasciende un orden tipológico y se cifra en ordenar el traslado de información a materia.

En un momento en que las ciencias, la forma más pura del conocimiento, estiman que su campo disciplinar transita en la incertidumbre debe el arquitecto entender que trabajar sobre esos supuestos, sólo le supone avanzar en su campo disciplinar.

El campo de ejercicio de la arquitectura es plural y es objeto de convergencia de muchas disciplinas (la matemática, la física, la ecología, las ciencias de computación, y teorías de sistemas, economía, las ciencias sociales, la política, etc). Es por ello esencial acometer la transformación de la disciplina desde una visión anti-reduccionista, gobernada por planteamientos de interrelación.

El proceso que dió comienzo de manera paralela a la propia gestación de las ciencias que lo han hecho el objeto de su trabajo, se inicia en la década de los sesenta y ha sido analizado en la parte central de este trabajo a través de varios arquitectos que supieron canalizar, y en casos, propiciar esa transformación del marco conceptual de la Arquitectura. Price, Negropon- te y Alexander, comparten la responsabilidad de haber anticipado hace 50 años, las “notas para una evolución humana” a través de la disciplina de la Arquitectura. Desde una visión optimista de las posibilidades conceptuales e instrumentales de la arquitectura como constructora de un futuro colectivo.

Gracias a su trabajo directo o a su legado a través de sus predicados, esta tesis supone una toma de muestras operativas de cómo esos campos científicos a los que nos referimos han condicionado la mutación de los códigos de operación de la Arquitectura. De una lectura crítica del trabajo desarro-

llado en esta tesis, que responde al análisis en paralelo de varios modelos arquitectónicos, es posible enunciar una serie de conclusiones.

- Las conclusiones primera a tercera corroboran los argumentos de la hipótesis principal de la tesis.
- Las conclusiones cuarta a sexta exponen una serie de pronunciamientos firmes sobre la pertinencia del tema desarrollado en esta tesis.
- La conclusión séptima abre planteamientos de trabajo posterior de investigación.

1. Conclusión primera.

El resultado de la investigación abierta por Christopher Alexander, Nicholas Negroponte y Cedric Price evidencia la incidencia de la Computación, y en menor medida la Biología y la Teoría de Sistemas, en el mundo conceptual de la Arquitectura y en sus los procedimientos de trabajo.

Motivan el cambio del objeto disciplinar de la arquitectura de un *producto* terminado a un *proceso* abierto. Esta coincidencia consistente, se produce gracias a la incorporación de nociones y lenguajes que ensanchan las capacidades originales de la disciplina incorporando atributos de la Computación que dotan de nueva significación a los conceptos de sistema, proceso y código.

2. Conclusión segunda.

El abandono del “tipo” arquitectónico en favor de el de “especie” y a incorporar el pensamiento poblacional, puesto que es el único modo de generar cambio en un tejido social (redes humanas) sobre el que trabajamos desde la condición de ecosistema. Hemos descubierto los paralelismos operativos entre conceptos típicos de la ecología como la escala, la diversidad, que son parte del léxico y corpus disciplinar de la arquitectura, y otros de incorporación novel como la emergencia o la resiliencia. Además se han incorporado procesos de morfo-génesis para, a través de la optimización, encontrar las soluciones idóneas a un problema arquitectónico. Es posible manejar procedimientos de variación simulada de los elementos fundamentales de la arquitectura, a través de algoritmos genéticos.

3. Conclusión tercera. El uso de la computación y sus predicados permiten al arquitecto plantear el diseño en clave de “acuerdo”. Trascendiendo las nociones de diseño como “problema” o como “propuesta” el arquitecto se traslada a un escenario político. El desarrollo de modelos computacionales, por sencillo que sea el objeto del mismo, precisa de una tarea participada donde cada decisión conceptual, formal, constructiva o económica depende de la inteligencia de la colectividad. Como se describe en los apartados de diseño orientado a sistemas y de diseño orientado al comportamiento material de la arquitectura, cada vez tratamos con objetos más complejos, con mayor número de ramificaciones y más difíciles de evaluar. Es en ese ámbito en que

la modelización de ecosistemas gestiona y asocia una importante cantidad de datos. Del mismo modo, aprende a diseñar las relaciones entre individuos y su entorno específico. A esto contribuye la gestión de datos a través del Gigamapping como herramienta de trabajo, diseño y evaluación de procesos. El arquitecto gracias a la incorporación de los lenguajes, las técnicas y los procedimientos de la computación se convierte en un arquitecto aumentado. Esta ampliación de capacidades no es sólo una proyección instrumental sino un potenciador de la creatividad.

4. **Conclusión cuarta.** Las técnicas de computación proveen a la arquitectura de un “medio”. No se puede hablar ya de dibujo o representación arquitectónica sino de medio ampliado que traslada un concepto abstracto y vinculado a una realidad construida. Como consecuencia de lo anterior, se están produciendo cambios en la notación, presentación y desarrollo de proyectos de arquitectura. El presente es ya un escenario donde se trabaja con documentos de simulación, tridimensionales, dinámicos y relacionales. Los documentos de proyecto arquitectónico deben ser acordes con argumentos indexados y debe tener lugar una deriva instrumental hacia lo dinámico. Los documentos deben ser simulaciones tridimensionales de las condiciones que intervendrán en el proceso de construcción y utilización del edificio. Deben servir para identificar un estado de equilibrio que permita el punto de inicio de un proceso de construcción. Mediante el uso de herramientas digitales de tipo paramétrico, entre otras, podemos incorporar esa información directamente en los documentos de arquitectura, construir nuevos atributos y generar cambios entrelazados en el diseño. Una propiedad importante que surge de la aplicación de este procedimiento es que los documentos resultantes son multi-escala por naturaleza: su contenido puede ser visualizado en muchas escalas diferentes sin necesidad de diferentes documentos a diferentes escalas.

5. **Conclusión quinta.** Establecen una nueva relación de la arquitectura con la tecnología, abarcando todas las escalas. Tal y como se demuestra en el capítulo de proyección, ese rango material va desde el trabajo en detalle de la materia, su capacidad reactiva su inteligencia latente y su capacidad de configuración, hasta los fenómenos de emergencia de modelos de organización compleja de ciudades, dando una nueva importancia a las infraestructuras y a la generación energética que dichas ciudades precisan. En este mismo aspecto, la arquitectura recupera la anhelada condición de disciplina basada en el aprendizaje y amplía el espectro de agentes involucrados. Tiene relevancia en el modo en que la sociedad se va involucrando en procesos de fabricación. La cuestión de hacer editable y asequible la fabricación digital de objetos cotidianos está transformando la relación con la construcción, recuperando facetas de la abandonada misión social del *home-made*. Esa dinámica abre los procesos de intercambio y participación del hecho constructivo. Las impresoras 3D son traductores de necesidades.

6. Conclusión sexta. Tiene relevancia en el modo en que el ser humano se enfrenta a los retos ambientales. No sólo es posible generar un proceso arquitectónico desde planteamientos de restitución de ciertos aspectos naturales del medio en que se inserta, sino que su papel, tal y como predijo Fuller Hacia el 2050, se estima que la población mundial vivirá en un 75 por ciento, en ciudades. La aplicación de modelos computacionales, morfo-genéticos o evolutivos puede asistir ese proceso, favoreciendo que un fenómeno de concentración en urbes sea también una oportunidad de generación energética, liberando y regenerando otros ámbitos territoriales del planeta. volcando las dinámicas hacia un diseño orientado a sistemas. Esto implica que se opera sobre el tejido, con estructuras auxiliares, edificios mediadores arquitectónicos, dinámicas de trabajo evolutivas (que pueden cambiar y adaptarse) e incluso estrategias reversibles. Cada vez más operamos en las ciudades junto con todos los agentes sociales, políticos, económicos, que las habitan, reivindicando el espacio público como propio, y haciendo del tratamiento del paisaje un despliegue de posibilidades geográficas infinitas. El papel de las infraestructuras adquiere una fascinante dimensión al convertirse en las redes principales del suministro y flujo de materia y energía de las ciudades, y deben convertirse en parte accesible, evidente y principal del diseño de las mismas. La misión de los arquitectos es diseñar edificios, barrios, distritos como elementos de una red de producción y transmisión energética, y también como una red, plantear las capas humanas que han de desenvolverse en ellas. Deben ser capaces e anticipar las modificaciones mutuas organismo-medio para prever como debemos adaptarnos a un nuevo paisaje condicionado.

7. Conclusión séptima. Es vital determinar en este punto cómo una de las conclusiones indican que esta relación de trasvase entre disciplinas es un vector con doble punto de inserción. También otras disciplinas se están viendo notablemente transformadas por los hallazgos y puesta en praxis de lo que la arquitectura determina como la construcción del entorno del hombre. La ecología, por ejemplo, está tomando procedimientos de dinámicas de construcción para sus procesos de gestión de redes de energía y materia. Establece un espacio de trabajo futuro.

COLOFÓN

Computers enable temporal compression of space and spatial compression of time. John Frazer. *EGS lectures 2014*

La gradual incorporación de la computación en el desarrollo de la arquitectura de hoy en día nos permite construir modelos de enormes elementos arquitectónicos ocupando muy poco espacio en el computador; en poco tiempo es posible modelar ciudades completas y los territorios que las conectan operando hipótesis virtuales de comportamiento. Del mismo modo, gracias al poder de los computadores podemos construir simulaciones que nos muestran de modo acelerado la evolución de esas construcciones a lo largo de

prolongados períodos, simulando así una compresión del tiempo.

Ese periodo de la historia de la arquitectura, que es un capítulo esencial en la misma porque alberga la mutación esencial en el modo de adaptarse al medio. Permitió la incorporación de toda una gama de instrumentos (Negroponte los inventaba, mientras Price proponía modos innovadores de uso) que han permitido un salto evolutivo esencial. Va más allá de un registro instrumental directo, de una herramienta sofisticada. Se instala en la capacidad de la tecnología de espolear , ampliar y propiciar la creatividad humana.

Como proclama el genial John Frazer, el trabajo con los computadores nos ha permitido comprimir espacialmente el tiempo, y comprimir temporalmente el espacio. Nos permite anticipar los efectos de nuestra arquitectura en años venideros, modelizando su evolución en un pequeño lapso de tiempo. Además nos permite comprimir en un pequeño almacenamiento de datos, la realidad de la complejidad de de un modelo inmenso de territorio y acceder a miles de capas de información del mismo. Nos ha dado la la capacidad de usar ese instrumento y esa actitud para garantizar el futuro de nuestro planeta.

Apéndice A

Diagrama 1

Apéndice B

Diagrama 2

Apéndice C

Diagrama 3

Apéndice D

Diagrama 4

Apéndice E

Entrevista con John Frazer

*“The aim of an evolutionary architecture is to achieve in the built environment the symbiotic behaviour and metabolic balance that are characteristic of the natural environment” John Frazer. *Evolutionary Architecture**

1. General questions on Theory and Practice

PM:Your work, extended throughout the last 30-35 years, seems to continually consider design as a vehicle for innovation, bringing together investigation and practice. Your teaching career underpins that approach and proves that the academic context has anticipated for the last decades the way we produce architecture today. We can trace the origins of the major research laboratories on evolutionary architecture under your supervision. These initial questions refer to the convergence of experimentation and education.

PM:Do you see design as “problem” as “proposal” or as “agreement”?

JF:Can I see design as a problem? That is a fairly simple question because it is a proposal. A proposal that implies a problem because if there isn't an implied problem then the proposal is pointless.

(**PM:**but you have stated that it is not a search problem...)

JF:Exactly, There is not a search for a problem solution, you make a proposal but there is an implied problem to which it could be the answer. If you believe in problem solving and you set about defining a problem and think you can get to it in a series of logical steps. Consider a problem area in your mind. The process follows problem worrying, problem solving. That is a logical approach. About the agreement, it has to have agreement or what's the point. Is not exactly solving a controversy but it might be that you ought to propose a solution which is outside the area from those being searched.

PM:Is “intelligence” equivalent to “learning” in an evolutionary context?

JF:Evolutionary architecture relates to nature in the sense that it pro-

totypes everything and most of it fail. The computer allows does not to develop intelligence straight away, but to virtually prototype, so you can run millions of experiments and evaluate them. There is no excuse not to . Why should you not put up a building which is environmentally satisfactory, and structurally satisfactory?

PM:You have developed several programming languages throughout your career, How do you value acquisition of a language for architectural purposes? Is it necessary to have a high command of a language to be able to invent with it?

JF:I used other languages like *fortran* or machine code to write things so I would use whatever language seemed convenient at the time to do it so the *reptile* one was a combination of machine code and fortran. However it was true that we then built special purpose languages the was a proper interpreted language written from scratch and all machine code instructions one did all the matrix transformations and one did all the interpretation. Writing a language means I had to write everything. Units and code. Oriented towards a particular aim. Including the prospective routines everything from scratch. So yes, you become inventive just for the fact that you are inventing the language.

PM:You have been fairly critical to the use of sophisticated graphic tools in architecture, stating that they are often used to fulfil conventional architecture, Do you think architects still need to draw?

JF:You ask a question do you think architects do not need to draw. Yes, but for very different reasons there is a very strange thing about architecture which is that we do not have a “medium”. If you compare with say the process of composer, where they have a fairly instant reciprocity. Drawing are some many levels of abstraction and self delusion away. I think as a discipline this is our biggest single problem : we do not have a medium so one of my questions to myself is if I can manage this.

PM:Is the role of architecture as committed to environmental issues based on the product or the procedures?

JF:The role of architecture as committed to environment based on the product and procedure. It is the same answer that refers to the process to produce the products. The emphasis has to be and most people working like me on the procedures and the process.

PM:Is Architecture responsible to enbroaden social and political values through design?

JF:I do not think it is the job of architecture to embroaden things. But I do think it is its job to demonstrate the possibility of broadening through demonstrating the viability of alternatives, the existence of alternatives. This is Cedric’s new menus thing, new menus new choices. And I also think you can put the word respond in there. I certainly think it is true and necessary

that it must respond to social values. That is what Cedric Price was genuinely concerned about.

2. Questions on collaboration with Cedric Price in the Generator Project

PM:I state the origins of your work on evolutionary design in the early programming techniques you explored soon in your career. That period seemed triggered by your collaboration with Cedric Price in the Generator Project. The following questions relate to what that process unfolded.

PM:Cedric Price had an increasing interest in cybernetics. We can trace back a time sequence from Fun Palace to Potteries Thinkbelt and to the Generator Project. Did Price share the generative approach?

JF:Let us try to disentangle this. I had been interested in these things for some 20 years previously and Cedric was aware of that because he had been one of my critics on my final presentations at the AA and also I had been to his office to get his own information back looking for products and things at times so I got to know him very well. Right from the very I noticed this particular line of questioning; this was the kind of clarity and mischievousness which I wanted undermining what other people took for granted. The fun palace was when Cedric first introduced cybernetics, and he had Gordon Pask as a cybernetics consultant and had quite a big team of cybernetic consultants. Often Cedric saying oh I got my cybernetic consultants it doesn't necessarily mean he took interest in it whatsoever. Somehow he knew it was the right thing to use he knew that was the social part of thinking. Conversely when I present something like the Fun Palace or the Generator to cybernetics conference they immediately recognise it as something of cybernetics, because it responds to a control system. But it does not mean Cedric took an interest in cybernetics. He took an interest in people their behaviours and how to provide other menus other sets of choices, alternatives, things they did not even know they could have.

He never took the interest in computing but he could foresee the transforming possibilities of it.

PM:How did you apply the reptile system to the Generator? How Intelligent Modelling system relates to cellular automata in that case?

JF:For the Generator, Price did not go to Gordon he came to me and originally our brief was reasonably low key. On Christmas eve I got a call from the office about seven o'clock in the morning from Nick Bailey one of my ex-Cambridge students. John could you help us with this? He did not tell me where the project was or anything (it was all top secret) but he sent me some drawings and from the drawings I worked out the latitude had to be that of Florida so I had a damn good guess of where this was. All we did

originally was to produce a computer program using a Textronic 451 that actually organized the site in response to requirements. When requirements changed he had various names of people on the site, who had new kind of ways to do this site management interaction with the client.

PM:who set up the brief?

JF:well that would be in discussion between Howard Gillman who was one of the Gilma pair brothers and Cedric but you can be pretty sure that by the time it got to this it was pure Cedric. This is Gilman. He runs this extraordinary empire and also this is mostly a philanthropic venture. (and he is the reason the Generator never got built was due to some difficulty between himself and his brother who is essentially still running the company) The idea was that they built these Portacabins like units to move around and the computer suggest how best to organise it. So we programmed that. And right about that time the Condor PET became available on the market Personal Electronic Transactor that is what PC used to be and suddenly the Textronic 4051. This is 1970 and the computer memory was 8k and a 25 resolution screen.

PM:You have defined Generator Project as a clear case of embedded intelligence building, How is intelligence related to self-replication?

JF: I built a working electronic model for Cedric and flew over from Ireland with this working model and to his great delight (I could not fly with a computer) but he managed to go into Tottenham Court Road and hire a computer he was more thrilled by that that he could hire for the day and I could just come in and plug in and just sat down with current and understood immediately the titanicity of it there would be a model where you would know where every part was and the parts had enough computing power to work out how to rearrange themselves We borrowed this idea from Gordon which is an idea of *boredom* from his *Musical Machine* It stimulates an interaction so then the site can start to learn it is all quite sensible not half as facetious as people think it is.

PM:"learning" was key and made a very big difference in that process, no? Did Price comply this?

JF:Cedric of course understood immediately and quickly wrote about this and it is a lovely piece from Building Design he wrote a little column in AD those days "I write to you to tell you the building should be intelligent can your building do that? my building does"

PM:Does isomorphism in computing translate to architectural space?

JF:I doubt that it affected the architectural space except in the sense which would be important to Cedric of enabling it to happen he was always on about enabling and so and menus and all about that so things had to be realizable. There is a question because we went straight to page one but

right at the top of this there is a lot of stuff about process the answer to all of this is that almost all of us were obsessed with the process but because we wanted to produce a new kind of product, a new kind of artefact but the emphasis was not on the artefact so much but on having to make the tools first as tool makers build the tools build the process build an explanation of how this could happen at all and none of those people you have picked put the emphasis on the product end of it. it was not an obsession with the process for the process's sake it was for the process leading to a product, as engagement with all the process of that type that question comes up again

PM:How do you rate the relevance of that project in subsequent architecture?

JF:I don't think they influenced my thinking very much but he gave me the opportunity to start to define certain aspects of it and you correctly point out that there is a link between that and the cellular automata which we had also been interested in for about 20 years. Years later when Cedric talked to my students and I invited him as permanent critic round about the end of 1989 to the AA we run the Generator project with that and of course a lot of cellular automata like programs Cedric knew about it he knew I could make something like that but he knew I didn't have to make one

3. Questions Regarding Evolutionary Architecture

PM:The level of affection of architecture and computing can be considered as a double direction vector. They influence each other in a common field of interdisciplinarity. By these questions I enquire about the relevance of generative process to encode systemic changes and propose new language in architecture .

PM:How did your research shift towards a stronger evolutionary-based architecture? Was that the natural evolution after Generator Project?

JF:what it started long before the generator so the influence there was only one way me on the generator but Cedric as a person and his thinking had an enormous influence on me right from the start so it would be completely ingenious to suggest that I suggested that to him. I wouldn't have thought of what we did with the generator if it had not been for knowing about Cedric and the project but it wasn't in any way in a brief and you can see that from the letters between the two of us.

PM:Why replicating Nature in its prototyping techniques is so relevant to Architecture?

JF:You have to know why, then you have the ability to start looking at relational operators between parts, it could be cellular automata type relationships between parts which allow all kinds of automatic process to start to come into operation. So I would say that any kind of self replicating activity requires some sort of implied self knowledge. I just do not think it is awfully helpful to try to pretend that machines are like us. I would rather

look at the differences and see something more like a symbiotic relationship and amplify stupidities as intelligence.

PM: You defined Life as “a self replicating information system”, why was self-replication so relevant to architecture then and to architecture today?

JF: There is an important book which is J. G. Miller's *Living Systems*. J. G. Miller basically identifies 16 subsystems every part of the hierarchy hits absolutely on the nail because architecture is a living system, metaphorically, literally and technically in his terminology.

We find two different things here: intelligent model systems. There are physical ones I built more like input output some of those are like cellular automata particularly the very early ones after that they were not necessarily always cellular automata except in the sense that they always rely on transition rules. There are about 6 rules for making cellular automata, we broke all of them. Based on the early models the early patented physical models from 1948 were cellular automata based on Uhlmann being the one who suggested to von Neumann that self replicating automata could be a cellular automata so he built one that worked.

PM: how is intelligence related to self replication?

JF: I would say it is because it knows its own rules. This is a very big question and I could give a very long answer but in this particular case I think intelligence relates to understanding yourself, self awareness I do not mean that in a mystical sense I mean that in an extremely loose sense. Geometry systems progressed from knowing where something was to knowing what something was and then why something was where and what it was.

PM: To what extent were the seeding technique and cellular automata relevant to architectural research?

JF: Cellular automata always uses the generative system I prefer because it is so flexible once you understand how to make it flexible you can make almost anything with it we have yet to see a new way of computer aided design systems totally based on some of this thinking. The seeding technique is essential because every interesting idea starts with some kind of generative concept. Architects have talked about it in different ways: Sullivan talked about seeding, that was very common that kind of terminology. There is quite a nice video tape of some ordinary architect like Norman Foster, he was asked the question: how do you start an architectural idea? He replied that he starts talking about the seed.

PM: Is working with multiple solutions in design, anticipatory of a parametric approach?

JF: I made my way through both of the volumes of Patrik Schumacher's books. Made extensive notes sent to Patrick with a note: I have abbreviated your book to two pages. The best to come coming to a point where we have the technologies the mood the point about Patrick is he shifting ground too

fast into parametric systems 2.0 where he claims he is going to do all these things yes I have good reason to be optimistic at the moment.

PM: Is evolutionary architecture prescient to parallel or concurrent computing?

JF: We actually run parallel computation on a massive scale it was only a matter of cost that stopped me doing that the person who first designed the transputer chip which is famous because it was the first chip that was so complicated that it could not be designed by hand it was designed by a computer program which had to be designed and the person that designed that was someone named David Wilson who was one of my students at Cambridge he was a mathematician who went into architecture at Cambridge. And he was the one who wrote the program the software that actually made the first really complicated chip to be designed they had come up against a brick wall of the complexity of the chips

PM: Relevance of a networked architecture. Participatory design. Is user's participation still necessary or useful to incorporate to design?

JF: Design participation user; yes the user is absolutely there, and I think irreversibly there. A lot of the interest now is because a lot of these techniques, particularly genetic algorithms, allow everyone to be able to put in opinions in there without vulgar voting. Because their ideas just get returned to the gene pool where they are evaluated by more objective criteria so you have always got objective criteria and more intuitive criteria, but you do not have to use the subjective criteria as the final decision. You can still put those back in the gene pool and then let the quantitative algorithms to take care of the process to entitle you for the final pick.

PM: There has been a shift in your work from evolutionary architecture to a more holistic grounds, tackling design in more ample terms. What major systemic changes do you find in recent emergent technologies laboratories?

JF: Laboratories enable research as a way of being prescient and dynamic. I am interested in tagging information to matter and so you will see. In one of my manifestos somewhere, in as much as I do not write manifestos but kind of objectives, that one of the things I am interested in is the convergence of space and information into one holistics system

ver imagen reciente de John Frazer E.1 E.2

Figura E.1: John Frazer en la Royal Society of Arts. (2015)

Figura E.2: John Frazer y Paula Montoya en la Royal Society of Arts. (2015)

Bibliografía

- ALEXANDER, C. *Notes on the Synthesis of Form*. Harvard paperback. Harvard University Press, 1964. ISBN 9780674627512.
- ALEXANDER, C. *Systems Generating Systems*. 1968.
- ALEXANDER, C. *The Oregon Experiment*. Center for Environmental Structure Berkeley, Calif: Center for Environmental Structure series. Oxford University Press, 1975. ISBN 9780195018240.
- ALEXANDER, C. *A City is Not a Tree*. Thames and Hudson, 1988.
- ALEXANDER, C., ISHIKAWA, S. y SILVERSTEIN, M. *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*. Center for Environmental Structure Berkeley, Calif: Center for Environmental Structure series. OUP USA, 1977. ISBN 9780195019193.
- ALLEN, S. y AGREST, D. *Practice: Architecture, Technique and Representation*. Critical voices in art. G+B Arts International, 2000. ISBN 9789057010729.
- ALLEN, S., VALLE, G. y PROJECTS, E. *Field Conditions Revisited*. Stan Allen Architect, 2010. ISBN 9780615406282.
- ALTSHULLER, G. *The innovation algorithm : TRIZ, systematic innovation and technical creativity*. Technical Innovation Center, Worcester, Mass., 1999. ISBN 0964074044 9780964074040.
- ALTSHULLER, G., SHULYAK, L., FEDOSEEV, U. y RODMAN, S. *40 Principles: TRIZ Keys to Innovation*. Tools Series. Technical Innovation Center, 1997. ISBN 9780964074033.
- ASHBY, W. R. *Design for a Brain*. Chapman and Hall, New York, 1952.
- ASHBY, W. R. *An introduction to cybernetics*. John Wiley & Sons, New York, 1966.
- BANHAM, R. *Megastructure: Urban Futures of the Recent Past*. Icon Editions. Harper and Row, 1976. ISBN 9780064303712.

- BANHAM, R. *Architecture of the Well-Tempered Environment*. Architecture: University of Chicago Press. University of Chicago Press, 1984. ISBN 9780226036984.
- BANHAM, R. y DAY, J. *Los Angeles: The Architecture of Four Ecologies*. University of California Press, 2009. ISBN 9780520260153.
- BARKER, P., BANHAM, R., HALL, P. y PRICE, C. Non-plan: an experiment in freedom. *New Society*, vol. 338, 1969.
- BELL, S., MCCOY, D. y MUSHINSKY, H. *Habitat structure: the physical arrangement of objects in space*. Population and community biology series. Chapman and Hall, 1991. ISBN 9780412322709.
- VON BERTALANFFY, L. *General system theory: foundations, development, applications*. International library of systems theory and philosophy. G. Braziller, 1968.
- BROWN, J. H., GILLOOLY, J. F., ALLEN, A. P., SAVAGE, V. M. y WEST, G. B. Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*, vol. 85(7), páginas 1771–1789, 2004.
- BURKE, A. y TIERNEY, T. *Network Practices*. Princeton Architectural Press, 2007. ISBN 1568987013.
- CARPO, M. *The Digital Turn in Architecture 1992-2012*. Architectural Digest Reader. Wiley, 2012. ISBN 9780262515801.
- CHERMAYEFF, S., ALEXANDER, C. y MASSERA, R. *Comunidad y privacidad: hacia una nueva arquitectura humanista*. Colección ensayos: Serie mayor. Arquitectura contemporánea. Nueva Visión, 1968.
- COOK, P. y (GROUP), A. *Archigram*. Princeton Architectural Press, 1999. ISBN 9781568981949.
- CORBUSIER, L. *L'art décoratif d'aujourd'hui / Le Corbusier*. G. Cres Paris, 1925.
- CORBUSIER, L. *La ville radieuse: civilisation machiniste : éléments d'une doctrine d'urbanisme pour l'équipement de la*. 1935.
- DARWIN, C. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. John Murray, London, 1859.
- DE LANDA, M. *A thousand years of nonlinear history*. Swerve editions. Zone Books, 1997.
- EISENMAN, P. *House X*. Rizzoli, 1982. ISBN 9780847803460.

- EISENMAN, P. Visions unfolding: Architecture in the age of electronic media. *Architectural Digest*, vol. 62, 1992.
- EISENMAN, P. *Digital Scrambler, from index to codex en Perspecta 35 (building codes)*. The MIT press, Cambridge Mass, 2004.
- FERNÁNDEZ-GALIANO, L. *El fuego y la memoria: sobre arquitectura y energía*. Alianza forma. Alianza Editorial, 1991. ISBN 9788420671109.
- FLAKE, G. *The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems, and Adaptation*. A Bradford book. Cambridge, Massachusetts, 1998. ISBN 9780262561273.
- FRAZER, J. Frazer to c. price, (letter mentioning second thoughts but using the same classification system as before). ????
- FRAZER, J. *An Evolutionary Architecture*. Architectural Association Publications, London, 1995.
- FULLER, R. *Utopia or oblivion: the prospects for humanity*. Bantam Books, 1972.
- FULLER, R. y APPLEWHITE, E. *Synergetics: Explorations in the Geometry of Thinking*. Número v. 0 en Collier books. Macmillan, 1982. ISBN 9780020653202.
- FULLER, R., OF ARCHITECTS, I. U., MCHALE, J. y AT CARBONDALE. WORLD RESOURCES INVENTORY, S. I. U. *Inventory of World Resources, Human Trends and Needs*. Número v. 4 en World design science decade 1965-1975 / 5 two year phases of a world retooling design proposed to the World Resources Inventory, Southern Illinois University for adoption by world architectural schools. International Union of Architects. Southern Illinois University, World Resources Inventory, 1963.
- FULLER, R. y SNYDER, J. *Operating Manual for Spaceship Earth*. Lars Müller Publishers, 2008. ISBN 9783037781265.
- FULLER, R. B. Buckminster fuller's dymaxion map [cartographic material] / r. buckminster fuller. [200-?].
- FURTADO, G. Cedric price's generator and the frazers'systems research. *Technoetic Arts: A Journal of Speculative Research*, vol. 6(1), 2008.
- GARBER, R. *BIM Design: Realising the Creative Potential of Building Information Modelling*. AD Smart. Wiley, 2014. ISBN 9781118719800.
- GIEDION, S. *Mechanization takes command: a contribution to anonymous history*. Oxford University Press, 1948.

- VON GOETHE, J. *The Experiment as Mediator Between Object and Subject (1772)*. Princeton University Press, Princeton, 1995.
- VON GOETHE, J. y WACHSMUTH, A. *Schriften zur Botanik und Wissenschaftslehre*. Dtv-Gesamtausgabe. Deutscher Taschenbuch Verlag, 1963.
- HENSEL, M. *Design Innovation for the Built Environment: Research by Design and the Renovation of Practice*. Routledge, 2012. ISBN 9780415596657.
- HENSEL, M., MENGES, A. y WEINSTOCK, M. *Emergence: Morphogenetic Design Strategies*. Architectural Design. Wiley, 2004. ISBN 9780470866887.
- HENSEL, M., MENGES, A. y WEINSTOCK, M. *Emergent Technologies and Design*. Routledge, 2010. ISBN 9780415493444.
- HOFSTADTER, D. R. *Gödel, Escher, Bach: An eternal golden braid*. Basic Books, New York, 1979.
- HOLLAND, J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1992. ISBN 0262082136.
- HOLLAND, J. H. *Emergence: From Chaos to Order*. Perseus Publishing, 1999. ISBN 0738201421.
- JENCKS, C. Nonlinear architecture: New science = new architecture? *Architectural Digest*, vol. 67(9-10), 1997.
- KAHN, L. I. Traffic study, project, philadelphia, pennsylvania, plan of proposed traffic-movement pattern. 1952.
- KOOLHAAS, R. y AVIA, J. *La ciudad genérica*. GG mínima. Gustavo Gili, 2006. ISBN 9788425220524.
- KROSCWITZ, J. I. y HOWE-GRANT, M., editores. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. Wiley, New York, 1992.
- KUHN, T. *The Structure of Scientific Revolutions*. ISSR library. University of Chicago Press, 1996. ISBN 9780226458083.
- KWINTER, S. y DAVIDSON, C. C. *Far from Equilibrium: Essays on Technology and Design Culture*. Actar-D, 2007. ISBN 9788496540644.
- KWINTER, S. y PAYNE, J. A conversation between sanford kwinter and jason payne. En *From Control to Design: Parametric/algorithmic Architecture* (editado por T. Sakamoto y A. Ferré). Actar-D, 2008.

- LANDAU, R. *New directions in British architecture*. New directions in architecture. G. Braziller, 1968.
- LATOUR, B. *Give Me a Laboratory and I will Raise the World*, páginas 141–170. Sage, 1983.
- LATOUR, B. y WOOLGAR, S. *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton paperbacks : science, sociology. Princeton University Press, 1979. ISBN 9780691028323.
- LEONARD, J. y MAU, B. *Massive Change*. Phaidon Press, London, 2004. ISBN 0-7148-4401-2.
- LIFE. Life presents r. buckminster fuller's dymaxion world. *LIFE*, vol. 734, páginas 41–55, 1943.
- MARIN, L. *Utopics: The Semiological Play of Textual Spaces*. Contemporary studies in philosophy and the human sciences. Humanities Press International, 1984. ISBN 9780391036642.
- MATHEWS, S. The fun palace as virtual architecture: Cedric price and the practices of indeterminacy. *Journal of Architectural Education*, 2006.
- MATTHECK, C. *Design in Nature: Learning from Trees*. Springer Berlin Heidelberg, 1998. ISBN 9783540629375.
- MATURANA, H. R. y VARELA, F. J. *Autopoiesis and cognition : the realization of the living / Humberto R. Maturana and Francisco J. Varela ; with a preface to "Autopoiesis" by Sir Stafford Beer*. D. Reidel Pub. Co Dordrecht, Holland , Boston, 1980. ISBN 9027710155 9027710163.
- MAYR, E. *Systematics and the Origin of Species, from the Viewpoint of a Zoologist*. Harvard University Press, 1942. ISBN 9780674862500.
- MAYR, E. *What Evolution is*. Science Masters Series. Basic Books, 2001. ISBN 9780465044269.
- MENGES, A. *COMPUTATIONAL MORPHOGENESIS. Integral Form Generation and Materialization Processes*. ????
- MENGES, A. y AHLQUIST, S. *Computational Design Thinking: Computation Design Thinking (AD Reader)*. Wiley, 1 edición, 2011. ISBN 0470665653.
- MINSKY, M. Steps toward artificial intelligence. En *Computers and Thought*, páginas 406–450. McGraw-Hill, 1961.
- MITCHELL, M. *Complexity: A Guided Tour*. OUP USA, 2009. ISBN 9780195124415.

- MOUSSAVI, F. y POLO, A. Z. *Roller-coaster Construction*. Wiley, 2002.
- NEGROPONTE, N. *The Architecture Machine*. MIT Press, Cambridge, MA, 1973.
- VON NEUMANN, J. The general and logical theory of automata. En *Cerebral Mechanisms in Behaviour* (editado por L. A. Jeffress). Wiley, 1951.
- VON NEUMANN, J. *Theory of self-reproducing automata*. University of Illinois Press, Urbana, 1966.
- NICHOLSON, J. *Animal Architects*. Premier's Reading Challenge, 5-6. Allen & Unwin, 2003. ISBN 9781865089553.
- ORTEGA, L. y ZAERA-POLO, A. *La digitalización toma el mando*. Compendios de Arquitectura Contemporánea. Editorial Gustavo Gili, S.L., 2009. ISBN 9788425222757.
- PASK, G. The architectural relevance of cybernetics. *Architectural Design*, vol. 6(7), páginas 494–496, 1969.
- PRICE, C., LIBRARY, C. P. y FONDS, C. P. *Potteries Think Belt: A Plan for the Establishment of a Major Advanced Educational Industry in North Staffordshire*. 1966.
- RAPOPORT, A. y CHAMMAH, A. M. *Prisoner's Dilemma*. University of Michigan Press, Ann Arbor, 1965.
- REICHARDT, J. y ICA. *Cybernetic serendipity; the computer and the arts*. Praeger New York, 1969.
- RIFKIN, J. *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*. St. Martin's Press, 2011. ISBN 9780230115217.
- ROUTLEDGE. *Encyclopedia of Computers and Computer History*. Routledge, 2001.
- ROUTLEDGE. *Oxford Dictionary of Computing*. Oxford University Press, 2010.
- RUFFORD, J. What have we got to do with fun?: Littlewood, price, and the policy makers. *New Theatre Quarterly*, vol. 27, páginas 313–328, 2011. ISSN 1474-0613.
- SCHUMACHER, P. *The Autopoiesis of Architecture: A New Framework for Architecture*. Número v. 1 en Autopoiesis of architecture. Wiley, 2011. ISBN 9781119990499.

- SCHUMACHER, P. *The Autopoiesis of Architecture, Volume II: A New Agenda for Architecture*. Autopoiesis of architecture. Wiley, 2012. ISBN 9781119940470.
- SCOTT, B. Gordon pask's conversation theory: A domain independent constructivist model of human knowing. *Foundations of Science*, vol. 6(4), páginas 343–360, 2001. ISSN 1233-1821.
- SERRES, M. *Le Contrat naturel*. François Bourin, Paris, 1990.
- SEVALDSON, B. Designing time a laboratory for time based design. ????
- SEVALDSON, B. Research on digital design strategies. 1999.
- SEVALDSON, B. *Developing Digital Design Techniques: Investigations on Creative Design Computing*. Con-text: Thesis. Oslo School of Architecture and Design, 2005. ISBN 9788254701720.
- SPILLER, N. *Cyber_Reader : Critical writings for the digital era*. Phaidon, London, 2002.
- SYSTEMS. *The Oxford Dictionary of Science*. Oxford University Press, 1984.
- THOMPSON, D. y BONNER, J. *On Growth and Form*. Cambridge paperbacks. Cambridge University Press, 1992. ISBN 9780521437769.
- TSCHUMI, B. *Architecture and Disjunction*. MIT Press, 1996. ISBN 9780262700603.
- TURING, A. M. Computing machinery and intelligence. En *Computers and Thought* (editado por E. A. Feigenbaum). McGraw-Hill, New York, 1963.
- UEXKÜLL, J. v. y MACKINNON, D. L. *Theoretical biology, by J. von Uexküll.* London,K. Paul, Trench, Trubner and co. Ltd., ????. [Http://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/5860](http://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/5860) — "Translated by D.L. Mackinnon, D.Sc."
- VINCENT, J. *How can biology inform architects?*. Routledge,, Abingdon, Oxon ;, 2012.
- WALLACE, A. R. On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type. En *Proceedings of the Linnean Society of London*, vol. 3. 1858.
- WHITEHEAD, A. *Process and Reality*. Free Press, 2010. ISBN 9781439118368.
- WIENER, N. *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine*. John Wiley, New York, 1948.

- WIGLEY, M. *The Architectural Brain*. Princeton Architectural Press, 2007.
- WIGLEY, M. y DE WITH (ROTTERDAM). CENTER FOR CONTEMPORARY ART, W. *Constant/New Babylon: the hyper-architecture of desire*. 1998.
- WYANT, B. y TRUMMER, P. *Associative design - neighborhood models : [second year advanced research studio Sept. 2005 - July 2006]*. Berlage Institute research report. Berlage Institute, 2006.
- XENAKIS, I. *Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition*. Harmonologia series. Pendragon Press, 1992. ISBN 9781576470794.