

NARRATIVAS CIBERNÉTICAS Y ARQUITECTURA COMPUTACIONAL

Autor: Camilo Andrés Cifuentes Quin
Director: Dr. Joaquim Regot Marimon
Co-director: Dr. Pau de Sola Morales

Programa de Doctorado en Comunicación Visual en Arquitectura y Diseño
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona – Universidad Politécnica de Cataluña

Agradecimientos

Debo mi reconocimiento a diversas entidades y personas que, de una u otra manera, han contribuido a la conclusión de este trabajo:

A Colciencias; gracias a su aporte económico he podido dedicar los últimos cuatro años a la dulce labor de aprender. Espero contribuir a que otros estudiantes colombianos puedan seguir el mismo camino.

A mis padres y a mis hermanos, por su apoyo incondicional en todas mis empresas.

A Céline, por haberme acompañado en el camino; y a toda la familia Rouchy, por haberme acogido como un miembro más de la familia.

A María Cecilia O'byrne, Sandra Corredor, y las demás personas en la Universidad de Los Andes cuya ayuda fue definitiva para postular mi candidatura a la beca "Francisco José de Caldas".

A mis directores de tesis, Joaquim Regot Marimon, por su constante apoyo durante estos cuatro años, y Pau De Sola Morales, por el entusiasmo que le inyectó a mi trabajo desde nuestro encuentro en ELISAVA.

A los evaluadores que leyeron y comentaron mi trabajo, Daniel Cardoso Llach y Rodrigo García Alvarado; sus valiosas observaciones han sido de gran ayuda para afinar el argumento y aclarar ciertos conceptos.

A Philippe Liveneau, por haberme invitado a formar parte de equipo pedagógico del máster "*Ambiances, Architecture et Culture Numérique*" en la escuela de arquitectura de Grenoble. Esta experiencia ha sido enriquecedora tanto a nivel personal como para mi trabajo de investigación.

A María Ruiz, quien gracias a sus incontables gestiones me ha permitido concentrarme en mi trabajo sin perderme en los insondables laberintos burocráticos.

A los amigos que me acogieron durante los periodos nómadas: Carolina Almeida, Tomás Piquero, David Abondano, Manuela Ianini, Daniel Sadaba, Ghislaine Etié, Dries Verheyen, Sara Bynens y, especialmente, Angélique Gudéfin y Thomas Thivent, mis ángeles de la guarda comprobados.

A todos los demás amigos que alegraron mis horas dentro y fuera de las bibliotecas.

Índice

1. Introducción	9
1.1 Descripción del argumento	9
1.2 La arquitectura computacional	11
1.3 Arquitectura y computación: ¿determinismo o mediación?	13
1.4 Cultura informática y pensamiento cibernético	19
1.5 La cibernética como paradigma: Hipótesis	23
1.6 Paradigma situado: Objetivo.....	25
1.7 Conceptos nómadas: Metodología	27
1.8 Estructura de la disertación	29
1.9 Implicación en el campo	32
2. Revisión de la literatura	33
2.1 Resumen	33
2.2 Cultura y tecnología	34
2.2.1 ¿Determinismo o neutralidad de la técnica?	34
2.2.2 Objetos híbridos.....	39
2.2.3 Diseñar un mundo tecnológicamente mediado.....	40
2.2.4 Transcodificación informática	41
2.3 Teoría cibernética	43
2.3.1 Entropía, información y retroalimentación.....	45
2.4 La expansión del modelo cibernético	48
2.4.1 La cibernética y la informática	48
2.4.2 La utopía de la comunicación.....	50
2.4.3 Un modelo universal	51
2.4.4 La informatización del saber	53
2.4.5 El imperio cibernético	55
2.5 El paradigma cibernético en la arquitectura.....	57
2.6 Narrativas cibernéticas	60
3. El performance de la arquitectura	63
3.1 Resumen	63
3.2 El performance de la arquitectura	64
3.3 El rendimiento y el comportamiento de la arquitectura	66
3.4 El origen cibernético del Performance Design	70
3.5 Analogías cibernéticas en el diseño performativo	75

3.6 Conclusión	80
4. Sistemas	83
4.1 Resumen	83
4.2 La teoría general de sistemas.....	84
4.3 Organización, totalidad y teleología.....	85
4.4 los isomorfismos y la unidad de la ciencia	86
4.5 El pensamiento sistémico	88
4.6 El pensamiento sistémico y la cibernética	91
4.7 La arquitectura y el pensamiento sistémico	96
4.8 La visión holística	99
4.9 Arquitecturas sistémicas	101
4.10 La autonomía de la arquitectura.....	103
4.11 Analogías orgánicas.....	105
4.12 Sistemas homeostáticos, emergentes y evolutivos	107
4.13 Arquitecturas bio-mórficas y bio-miméticas	109
4.14 Conclusión	111
5. Mecanismos genéticos	113
5.1 Resumen	113
5.2 La biología molecular y el pensamiento informacional	114
5.3 Del pensamiento informacional en la biología a la biología computacional.....	116
5.4 La biología computacional	119
5.5 Algoritmos genéticos	121
5.6 Sistemas de Lindenmayer	123
5.7 La cibernética y el pensamiento informacional en la biología	125
5.8 El paradigma genético en la arquitectura	128
5.9 Una arquitectura evolutiva	131
5.10 Arquitecturas genéticas	135
5.11 La dimensión utópica	138
5.12 Los maginarios genéticos y el zeitgeist digital	143
5.13 Conclusión.....	144
6. Fenómenos complejos	145
6.1 Resumen	145
6.2 El pensamiento de la complejidad	146
6.3 Sistemas Complejos	149
6.4 Emergencia y Auto-organización	151
6.5 El pensamiento de la complejidad y la cibernética	155
6.6 La arquitectura como un sistema complejo.....	158

6.7 La formación emergente y auto-organizada de la arquitectura	161
6.8 La computación material de la arquitectura	166
6.9 Conclusión	175
7. Una mirada crítica	177
7.1 Hacia una mirada crítica de la producción computacional de la arquitectura.....	177
7.2 Utopías, prototipos y ecologías.....	177
7.3 Utopías: ¿el proyecto como crítica o la arquitectura de ciencia ficción?	179
7.4 Prototipos: ¿la técnica como medio o como fin?.....	180
7.5 Ecologías: ¿ sistemas retroalimentados o la retroalimentación como estrategia retórica?	181
7.6 El backhand y el forehand platónico en la arquitectura computacional	182
7.7 El análisis como herramienta	184
8. Conclusiones	185
8.1 Narrativas cibernéticas y arquitectura computacional	185
8.2 Alcance y limitaciones del estudio	192
8.3 Perspectivas de investigación	195
9. Anexo	197
9.1 Resumen	197
9.2 La concepción atmosférica de la arquitectura	198
9.3 El diseño paramétrico	199
9.4 Integración del modelado paramétrico y la concepción atmosférica del espacio.....	200
9.5 El modelo	202
9.6 El modelo aplicado	209
9.7 El modelo en el estudio de diseño	210
9.8 Conclusiones preliminares sobre el potencial del modelo para la pedagogía de los ambientes...	211
10. Bibliografía	215

1. Introducción

Today the World is message, codes and information. Tomorrow what analysis will break down our objects or reconstitute them in a new space? What new Russian doll will emerge?

François Jacob.

1.1 Descripción del argumento

Esta disertación pretende contribuir a la comprensión del rol acordado a las tecnologías de la información en la arquitectura. Con este propósito se presenta una mirada a algunos de los modelos dominantes desarrollados en el campo de la arquitectura computacional, desde la perspectiva de la relación entre la introducción de las herramientas informáticas en la profesión y la construcción de sus problemas disciplinares en referencia a una serie modelos de pensamiento herederos de los discursos de la información.

Más precisamente, el análisis planteado constituye un estudio de la influencia de las ideas centrales del pensamiento cibernético en las prácticas contemporáneas de arquitectura computacional. De este modo se aspira a mostrar de qué manera algunas de las más influyentes construcciones de los problemas arquitectónicos en este campo se han elaborado alrededor del paradigma de pensamiento teorizado por Norbert Wiener y sus colegas. Parafraseando a François Jacob, el mundo de los arquitectos digitales es el mundo de los mensajes, los códigos y la información. El principal interés de este

1.1 Description de la problématique

Cette thèse entend contribuer à la compréhension du rôle accordé aux technologies de l'information en architecture. Dans cette optique une attention sera portée à quelques modèles majeurs développés dans le champ de l'architecture digitale, depuis la perspective de la relation entre l'introduction des outils informatiques en architecture et la construction de ses problématiques disciplinaires en référence à une série de modèles de pensée hérités des discours de l'information.

Plus précisément l'analyse proposée constitue une étude de l'influence des idées centrales de la pensée cybernétique dans les pratiques contemporaines de l'architecture digitale. Dans ce sens cette thèse aspire à montrer de quelle manière quelques uns des modèles les plus influents dans ce domaine se sont construits autour du paradigme de pensée théorisé par Norbert Wiener et ses collègues. Partant de ce premier postulat on peut affirmer, paraphrasant François Jacob, que le monde de l'architecture digitale est le monde des messages, des codes et de l'information. Le principal intérêt de cette thèse est d'explorer dans quels sens ce postulat résume le paradigme à l'intérieur duquel s'est développé la perspective digitale en architecture.

Avec cet objectif une série de modèles développés dans le domaine de l'architecture digitale seront examinés, en se basant sur un mode d'analyse qui considère ses productions comme ce que Bruno Latour nomme « travail de médiation ». Autrement dit, comme processus résultants de la complexe rétro alimentation entre différents facteurs qui incluent les problèmes disciplinaires traditionnels de l'architecture, ses aspects technologiques et une série de références croisées de différents modèles de pensée hérités du paradigme cybernétique.

A travers cette exploration, ce travail de recherche aspire à montrer de quelle manière les imaginaires de l'architecture qui se sont construits avec l'exploration numérique des problèmes de conception, constituent des réflexions autour d'une série d'idées, indissociables de l'origine de l'informatique, qui ont joué un rôle relevant dans la pensée contemporaine depuis la

trabajo es explorar en qué medida este es el paradigma dentro del cual se ha desarrollado la perspectiva computacional en la arquitectura.

Con este fin se examinan una serie de construcciones de los problemas arquitectónicos desarrolladas en el campo de la arquitectura computacional, en referencia a un modo de análisis desde el cual sus producciones son consideradas como lo que Bruno Latour llama un “trabajo de mediación”. Es decir, como el resultado de la compleja retroalimentación entre diferentes factores, que en este caso incluyen los problemas disciplinares tradicionales de la arquitectura, sus aspectos tecnológicos y una serie de referencias cruzadas a diferentes discursos tecnocientíficos herederos del paradigma cibernético.

Mediante esta exploración se aspira a mostrar de qué modo los imaginarios de la arquitectura que se han consolidado junto con la exploración computacional de los problemas de diseño constituyen reflexiones alrededor de una serie de ideas, indisociables del desarrollo de la informática, que han jugado un papel relevante en el pensamiento contemporáneo desde la formulación de la teoría cibernética a mediados del siglo XX. La comprensión de lo anterior es fundamental para entender las condiciones intelectuales que han estructurado el pensamiento arquitectónico en este campo, conocimiento necesario para desarrollar un análisis crítico de sus producciones.

Respecto a este último punto el análisis planteado incluye una reflexión, presentada al final del análisis, del influjo cibernético en las producciones digitales de la arquitectura. Este análisis señala una tendencia, bastante

formulation de la théorie cybernétique au milieu du XXe siècle. La compréhension de cela est fondamentale pour comprendre les conditions intellectuelles qui ont structurées la pensée architectonique dans ce domaine ; c'est une connaissance nécessaire pour développer une analyse critique de ses productions.

En rapport avec ce dernier point, l'étude proposée inclut une réflexion, présentée à la fin de l'analyse, de l'influence de la pensée cybernétique dans les productions numériques de l'architecture, qui indique une tendance, assez commune parmi les productions dans ce domaine, qui consiste à passer de la définition de scénarios pour la production de l'architecture basés sur des discours et technologies informationnelles, à la définition de scénarios dans lesquels ces recours (discours et technologie) s'autonomisent de la multiplicité des facteurs qui définissent les problèmes disciplinares de l'architecture.

En présentant un ample panorama qui identifie les conditions intellectuelles sur lesquelles se sont structurées les productions numériques de l'architecture, l'étude permet d'analyser les possibles causes de cette tendance, en même temps qu'il indique les potentiels du modèle cybernétique pour penser une architecture qui ne se trouve pas limitée à des fictions cyber-technologiques.

1.2 L'architecture digitale

Il est important de préciser que le concept d'architecture digitale, ou dessin numérique, s'emploie ici pour définir les approches du dessin architectonique basées sur l'usage de techniques informatiques – telles que les modèles de formation, paramétriques et génératives – qui proposent des alternatives aux paradigmes établis de la conception architecturale, et qui s'associent, plus qu'avec des nouvelles techniques de dessin et représentation, avec des questions comme l'exploration de processus dynamiques pour déduire la forme architectonique, l'inclusion de l'information comme nouveau type d'entrée pour la conception et l'automatisation des processus de projection à travers l'usage des techniques algorithmiques.

común entre las elaboraciones en este campo, que consiste en pasar de la definición de escenarios para la producción de la arquitectura apoyados en discursos y tecnologías informacionales, a la definición de escenarios en los que estos recursos (discursos y tecnologías) se autonomizan de los múltiples factores que definen los problemas disciplinares de la arquitectura.

Al presentar un panorama amplio que identifica las condiciones intelectuales sobre las que se han estructurado las producciones digitales de la arquitectura, el estudio planteado permite analizar las posibles causas de esta tendencia, al tiempo que señala el potencial del modelo cibernético para pensar una arquitectura que no se encuentre enfrascada en ficciones ciber-tecnológicas.

1.2 La arquitectura computacional

Es importante aclarar que el concepto de arquitectura computacional, o variaciones del mismo como diseño digital, se emplea aquí para definir las aproximaciones al diseño arquitectónico basadas en el empleo de técnicas informáticas – como los modelos de formación, paramétricos y generativos – que plantean alternativas a los paradigmas de diseño establecidos. Estos modelos se asocian, más que con nuevas técnicas de representación de la arquitectura, con cuestiones como la exploración de procesos dinámicos para deducir la forma arquitectónica, la inclusión de la información como un nuevo tipo de insumo para el diseño, y la automatización de los procesos de proyectación a través del uso de técnicas algorítmicas.¹

Plus important encore, le développement et l'évolution de ce type d'approche de la conception ne s'est pas basé exclusivement sur l'introduction de nouveaux outils digitaux dans la profession, mais également dans la redéfinition des problèmes en architecture en référence aux nouveaux modèles de pensée intimement liés à l'émergence de la culture informatique. D'après Kostas Terzidis, la pratique du numérique est liée au processus de déterminer une chose/objet avec des méthodes mathématiques ou logiques. En conséquence, l'usage du numérique en architecture est associé aux notions telles que « rationalisation, logique, algorithme, déduction, induction, extrapolation, et estimation », et contient des aspects tels que « la résolution de problèmes, les structures mentales, la cognition, la simulation et l'intelligence basée sur des règles » (Terzidis, 2006, p. xi)

En architecture l'emploi de ces notions a été exploré à travers le développement de nouveaux cadres conceptuels qui incluent des références à divers champs de connaissance. Par exemple, la définition algorithmique des processus de projection s'est liée avec la construction d'analogies sur les mécanismes de la génétique des organismes, tandis que l'exploration de l'objet architectural comme un système adaptatif et dynamique s'est associé avec les phénomènes d'auto-organisation et émergence tels qu'ils ont été conceptualisés dans la pensée de la complexité.

Cet aspect caractéristique des pratiques de l'architecture digitale a été mis en exergue par plusieurs théoriciens (Picon, Kolarevic, Oxman, Hight, Kwinter) qui se sont demandés comment l'évolution de la perspective numérique en architecture a eu lieu en même temps que la construction de problèmes disciplinares en référence à plusieurs modèles de pensée influents dans la culture contemporaine.

¹ A pesar de haber ganado particular atención en los últimos años, este tipo de aproximación tiene sus orígenes en los años sesenta del siglo pasado, periodo en el cual, de la mano con la expansión de la informática, la introducción de la computación en la arquitectura comenzó a consolidarse como un campo de investigación en algunas universidades del Reino Unido, principalmente en Cambridge, y posteriormente en Estados Unidos (Rocha, 2004).

Es relevante insistir en que el desarrollo y la evolución de este tipo de aproximaciones no se ha basado exclusivamente en la introducción de nuevas herramientas digitales en la profesión, sino en la redefinición de los problemas de la arquitectura en referencia a nuevos modelos de pensamiento íntimamente relacionados con la consolidación de la cultura informática. Según Kostas Terzidis el concepto de computación se relaciona con el proceso de determinar algo por métodos matemáticos o lógicos. En consecuencia, el empleo de la computación en la arquitectura se ha asociado con nociones como “racionalización, lógica, algoritmo, deducción, inducción, extrapolación, exploración y estimación”, y ha envuelto aspectos como “la resolución de problemas, las estructuras mentales, la cognición, la simulación y la inteligencia basada en reglas.” (Terzidis, 2006, p. xi)

En el campo de la arquitectura la aplicación de estas nociones a los problemas de diseño ha sido explorada mediante el desarrollo de nuevos marcos conceptuales que incluyen referencias a diferentes campos del conocimiento. Por ejemplo, la definición algorítmica de los procesos de diseño se ha relacionado con la construcción de analogías sobre los mecanismos de la genética en los organismos, mientras que la exploración de los objetos arquitectónicos como sistemas adaptativos y dinámicos se ha asociado con los fenómenos de auto-organización y emergencia, tal como estos han sido conceptualizados en el pensamiento de la complejidad.

Este aspecto, característico de las prácticas de arquitectura computacional, ha sido señalado por varios teóricos (Picon, Kolarevic, Oxman, Hight, Kwinter) que han indagado cómo la evolución de este campo ha venido de la mano con la construcción de los problemas de la

Rivka Oxman a même affirmé que « Peut-être que la plus importante des conditions créées par l'émergence des nouvelles technologies du dessin numérique pendant la dernière décennie a été l'émergence simultanée des nouveaux cadres théoriques et philosophiques qui constituent les bases intellectuelles du dessin numérique » (Oxman, 2006, p. 262)

L'idée avancée par Oxman est particulièrement pertinente pour n'importe quelle étude portant sur la rencontre entre l'architecture et l'informatique. En situant la pensée cybernétique comme un des aspects essentiels pour la construction des problèmes de l'architecture numérique, la thèse prétend contribuer à la compréhension des facteurs qui ont structuré la pensée architecturale dans ce contexte. Celle-ci est sans doute une condition nécessaire pour analyser de manière critique les productions dans ce domaine. Naturellement cela demande l'adoption d'un modèle d'analyse qui rend compte non seulement des aspects techniques de l'intégration de l'informatique dans les processus de conception, mais aussi des cadres théoriques autour desquels la perspective numérique dans l'architecture a été construite.

1.3 Architecture et informatique : déterminisme ou médiation ?

En dépit de cette évidence, les postures déterministes, comme le rappellent Kiel Moe et Ryan E. Smith, sont un lieu commun tant dans la pratique que dans l'étude de la technologie en architecture. Ce type de positionnement a conduit à des visions de la technologie dans la profession comme un sujet autonome et technocratique. En conséquence on a eu tendance à considérer les questions technologiques comme facteurs isolés des réseaux complexes que définissent tant les aspects techniques de la profession, comme tous les autres facteurs impliqués dans l'élaboration théorique et matérielle de l'architecture (Moe et Smith, 2012, p. 2).

Les analyses déterministes ne sont pas étrangères à l'étude de la relation entre architecture et informatique. En effet, une idée fréquemment évoquée est que les outils numériques ont été les moteurs des changements observés dans plusieurs pratiques architectoniques contemporaines ;

arquitectura en referencia a diversos modelos de pensamiento influyentes en la cultura contemporánea. Rivka Oxman incluso ha planteado que “[t]al vez la más desafiante de las condiciones creadas por la emergencia de las nuevas tecnologías de diseño digital en la última década, ha sido la emergencia simultánea de nuevos marcos teóricos y filosóficos que constituyen las bases intelectuales del diseño digital.” (Oxman, 2006, p. 262)

El punto señalado por Oxman es particularmente relevante para cualquier estudio que explore el encuentro de la informática y la arquitectura. Al situar el pensamiento cibernético como un factor central en la construcción de los problemas de la arquitectura digital, la disertación pretende contribuir a la comprensión de los factores que han estructurado el pensamiento arquitectónico en este contexto. Esta es sin duda una condición necesaria para analizar críticamente las producciones elaboradas en este campo. Naturalmente, lo anterior exige la adopción de un modelo de análisis que dé cuenta no solamente de los aspectos técnicos de la integración de la informática en los procesos de diseño, sino de los marcos conceptuales alrededor de los cuales se ha elaborado la perspectiva computacional en la arquitectura.

1.3 Arquitectura y computación: ¿determinismo o mediación?

A pesar de esta evidencia, las posturas deterministas, como lo recuerdan Kiel Moe y Ryan E. Smith, son un lugar común tanto en la práctica como en el estudio de la tecnología en la arquitectura. Este tipo de postura ha conducido a visiones de la tecnología en la profesión como

même dans des travaux préoccupés par la compréhension complexe entre les élaborations de l'architecture digitale et un contexte sociopolitique et intellectuel, on retombe dans ce lieu commun.

Les discours déterministes méritent une attention car les sous-entendus qu'ils contiennent rappellent quelques unes des postures dominantes dans l'étude des rapports entre culture et technologie. Ce discours amène une vision de la relation outils-culture d'emploi qui rappelle la maxime de Marshal McLuhan « le médium est le message », ou la théorie marxiste du développement historique, selon laquelle les transformations dans la société se manifestent dans les moyens de production (l'infrastructure) avant de se manifester dans les manifestations culturelles ou l'idéologie (la superstructure).

Dans le cas de l'architecture, le problème posé par ces visions est qu'il conduit à des simplifications tels que la tendance, déjà mentionnée, à considérer l'emploi de la technologie comme l'origine des changements dans ses productions, ou bien à considérer que ces changements ont été motivés exclusivement par la quête d'une certaine complexité géométrique que les nouvelles technologies permettent d'explorer. Même si la quête de nouveaux imaginaires formels a été un aspect central de plusieurs productions digitales de l'architecture, il est important de comprendre comment ces explorations se sont articulées avec des réflexions sur le contenu propre aux techniques et technologies utilisées, et également dans quelle mesure ces recherches se sont nourries de différentes références à des concepts élaborés dans des divers champs de la connaissance.

Dans l'introduction de Une histoire de l'informatique, le sociologue Philippe Breton se demande précisément si la compréhension de l'intégration dans la société de l'informatique peut passer uniquement par l'étude de ses aspects techniques. La réponse de l'auteur est que limiter la connaissance de l'informatique à ses aspects purement techniques serait nier ce qu'il y a de dynamique dans l'idée de culture informatique (Breton, 1990). Cette question transposée à l'étude de l'architecture numérique amène à se demander si ses productions peuvent être pensées seulement à partir de la compréhension des outils employés. A partir du point de vue adopté la réponse coïnciderait avec celle de Breton : réduire le

un sujeto autónomo y tecnocrático. En consecuencia, las cuestiones tecnológicas han sido consideradas como factores aislados de las complejas redes que definen tanto los aspectos técnicos de la profesión, como todos los demás factores involucrados en la elaboración teórica y material de la arquitectura (Moe & Smith, 2012, p. 2).

Los análisis deterministas no han sido ajenos al estudio de la relación entre la arquitectura y la informática. De hecho una idea frecuentemente evocada es que las herramientas digitales han sido el motor de los cambios observados en muchas prácticas arquitectónicas contemporáneas. Incluso en trabajos preocupados por entender de manera compleja la relación entre las elaboraciones de la arquitectura computacional y un contexto socio-político e intelectual, por momentos se cae en este lugar común.²

Los discursos deterministas merecen atención porque los supuestos que se encuentran detrás de ellos recuerdan algunas de las posturas dominantes en el estudio de las relaciones entre cultura y tecnología.³ Estos implican una visión de la relación herramienta-cultura de uso que recuerda la máxima de Marshal McLuhan “el medio es el mensaje”, o la teoría marxista del desarrollo histórico, según la cual las transformaciones en la sociedad se

problème de la relation de l'architecture et l'informatique uniquement à la question des techniques employées serait nier l'impact de la culture informatique dans les élaborations de l'architecture.

Pour comprendre l'impact de la culture informatique dans l'architecture il est fondamental de connaître non seulement les outils technologiques, mais aussi de comprendre les implications de leur usage. Mais cela devient possible seulement si l'on adopte un modèle d'analyse qui dépasse les simplifications des visions déterministes, visions depuis lesquelles la perspective numérique a été étudiée seulement en terme des modes d'opération que l'informatique a permis d'introduire dans la profession. Cette position nie un aspect encore plus important qui se trouve au centre de l'analyse proposée, à savoir, comment ont été interprétés depuis la pratique de l'architecture les changements épistémologiques, les idées et valeurs, que l'informatique incarne.

Avec l'objectif de comprendre cela, l'analyse part de la considération que les constructions de l'architecture numérique sont le résultat d'un processus de médiation entre des artefacts et des idées. Ce regard s'inspire des modèles d'analyse proposés par des auteurs comme Donna Haraway, Katherin Hayles et Bruno Latour, qui présentent une vision des relations complexes entre culture et technologie comme deux aspects de productions humaines qui se composent ensemble. Haraway par exemple suggère la nécessité d'un modèle d'analyse qui indique les relations sociales entre les sciences, la technologie, et le système de mythes et

² Por ejemplo, Altino Joao Rocha, autor de un interesante trabajo sobre la emergencia de la perspectiva computacional en la profesión, sugiere en algún punto que el desarrollo de nuevos conceptos en los años noventa fue el resultado de construir metáforas teóricas y computacionales que permitían el uso de las nuevas herramientas de diseño (Rocha, 2004, p. 89).

³ Langdon Winner, por ejemplo, plantea en su influyente ensayo *El reactor y la ballena* que de manera general “la literatura sobre la revolución informática se limita a describir la sorprendente magnitud de las innovaciones técnicas y sus efectos sociales. Esto incluye no sólo a las publicaciones superficiales sino a prestigiosos *journals* de la comunidad científica.” (Winner, 2003, p. 589) Winner incluso sugiere que el determinismo tecnológico deja de ser una simple teoría para convertirse en un ideal: “El deseo de adoptar las condiciones generadas por el cambio tecnológico sin juzgarlas previamente.” (Ibíd. p. 593) Jérôme Segal, en su extenso estudio sobre la noción de información en el siglo XX también recuerda que una parte importante de la bibliografía sobre la “sociedad de la información” no va mas allá de promover un discurso dominante que hace elogio del liberalismo y que, desde los escritos de McLuhan hasta la Mediología de Debray, se trata en la mayoría de los casos de exponer “los efectos engendrados por las técnicas... en la sociedad”. (Segal, 2003, p. 5)

manifiestan en los medios de producción (infraestructura) antes de manifestarse en las manifestaciones culturales o en la ideología (superestructura).

En el caso de la arquitectura el problema que plantean estas visiones es que conducen a simplificaciones, como la ya mencionada tendencia a asignar al empleo de la tecnología el origen del cambio en las elaboraciones de la arquitectura, o que estas nuevas elaboraciones han estado motivadas exclusivamente por la búsqueda de cierta complejidad geométrica que las nuevas tecnologías permiten explorar. Aunque sin duda la búsqueda de nuevos imaginarios formales ha sido un aspecto central de muchas producciones digitales de la arquitectura, es importante comprender cómo estas exploraciones se han articulado con reflexiones que se han nutrido de diversas referencias a conceptos elaborados en diferentes campos del conocimiento.

En la introducción de *Une histoire de l'informatique*, el sociólogo Philippe Breton se pregunta precisamente si la comprensión de la integración en la sociedad de la informática puede pasar únicamente por el estudio de sus aspectos técnicos (Breton, 1990). La respuesta del autor es que reducir el conocimiento de la informática a sus aspectos puramente técnicos sería negar lo que hay de dinámico en la idea de "cultura informática".⁴ Trasladada esta cuestión al estudio del campo de la arquitectura computacional, cabe preguntarse si sus producciones pueden pensarse solamente desde la comprensión de las herramientas informáticas empleadas. Desde la

significations qui structurent les imaginaires. Depuis cette perspective elle considère que «la limite est perméable entre outil et mythe, instrument et concept, systèmes historiques des relations sociales et anatomies historiques des corps possible, qui incluent les objets de connaissance » (Haraway, 2003, p.524). Selon Haraway cette restructuration du monde à travers les rapports sociaux de la science et la technologie ne constitue pas un déterminisme technologique sinon qu'il s'agit d'un système des relations structurées médiatisées par la technologie. On comprend alors que la technologie ne détermine pas, sinon qu'elle rend possible certaines formes d'organisation.

En relation avec cette vision complexe de la construction du culturel et du technologique, relèvent d'un intérêt les études qui reconnaissent, comme le propose Branko Kolarevic, que le domaine de l'architecture numérique, plus qu'un phénomène déterminé par des aspects techniques est une manifestation culturelle qui inclut, entre autres, des aspects technologiques, esthétiques, et idéologiques (Kolarevic, 2003). D'une manière similaire, Burke et Tierney proposent que dans une société de réseaux le rôle de l'architecte est motivé par une préoccupation concernant le développement des technologies, et la manière dont celles-ci prennent forme parmi les phénomènes socioculturels. Dans ce sens, la production digitale de l'architecture, plus que déterminée par la technologie est considérée « équipée de manière croissante pour traiter les complexités de l'espace en réseau contemporain, développant ainsi des nouveaux types de pratiques et en explorant de nouveaux contextes et conditions spatiales complexes dans des ambiances digitales et réelles » (Burke et Tierney, 2007, p.27).

Dans la même veine d'analyse, Antoine Picon a signalé que la technologie est difficilement l'unique explication des changements dans la définition et le contenu de l'architecture numérique ; spécialement quand dans la production de l'architecture existent tellement de choses qui dépendent des facteurs culturels et économiques (Picon, 2010, p. 9).

⁴ Por "cultura informática" Breton se refiere al conjunto de ideas, valores, desarrollos técnicos, conocimientos, etcétera, sobre los cuales se definen las formas de pensar el mundo en la era de la información. De esto se desprende que no existe una separación entre los sistemas técnicos (las tecnologías de la información en este caso) y lo cultural, sino que estos son parte de un complejo ensamblaje que incluye múltiples factores que se construyen simultáneamente, y que incluyen los aspectos tecnológicos.

perspectiva aquí abordada, la respuesta a esta pregunta coincidiría con la de Breton: reducir el problema de la integración de la arquitectura y la computación únicamente a la cuestión de las técnicas utilizadas, sería negar el impacto de la cultura informática en las elaboraciones de la profesión.

Para comprender el impacto de la cultura informática en la arquitectura es fundamental conocer no solamente las herramientas tecnológicas, sino entender de manera compleja las implicaciones de sus usos. Pero esto sólo es posible si se adopta un modelo de análisis que supere las simplificaciones de las visiones deterministas, que con frecuencia se han limitado a estudiar la perspectiva computacional exclusivamente en términos de los modos de operación que la informática ha permitido introducir en la profesión. Esta mirada deja de lado un aspecto, tanto o más importante, que se encuentra en el centro del análisis propuesto, a saber, cómo se han interpretado desde la práctica de la arquitectura los cambios epistemológicos, las ideas y valores, que la informática encarna.

Con el objetivo de comprender esto último, el análisis propuesto parte de pensar las elaboraciones de la arquitectura computacional como un proceso de mediación entre artefactos e ideas. Este enfoque se inspira en los modelos de análisis propuestos por autores como Donna Haraway, Katherine Hayles y Bruno Latour, quienes presentan una visión de lo tecnológico como un factor en la compleja red de relaciones que participan en la producción de la cultura. Así se entiende que no existe una dicotomía entre cultura y tecnología, sino que lo tecnológico es una producción cultural al tiempo que los

D'un autre côté Picon ajoute que si l'on pense à la technologie comme explication unique de ces changements propres à l'architecture numérique, cette influence doit être pensée de manière plus large incluant non seulement les techniques employées par les professionnelles, mais aussi le contexte général d'une société technologiquement médiatisée. Selon l'auteur il est indispensable de comprendre les changements dans la profession de l'architecture dans un contexte historique global qui comprend le développement de l'informatique, les tentatives de repenser l'architecture dans le cadre cybernétique et l'importance de la perspective numérique dans la naissance du postmodernisme (Picon, 2010, p.9).

Dans un contexte comme celui proposé par Picon, et depuis le point de vue des modèles d'analyse conçus par Latour, Haraway et Hayles, la thèse propose un regard sur la production de l'architecture numérique comme des manifestations culturelles et techniques. C'est-à-dire comme des manifestations résultantes de la retro alimentation entre la construction des problèmes disciplinaires en référence à des discours technoscientifiques, et l'introduction d'une pragmatique informationnelle dans les processus de conception.

1.4 Culture informatique et pensée cybernétique

Le sociologue de la science Philippe Breton propose une piste intéressante pour penser cette relation de retro alimentation. Breton a argumenté que l'informatique, en dépit d'avoir été pensée il y a plusieurs décennies et d'être une discipline en constante évolution, reste un domaine déterminé en grande mesure par les principes établis à ses origines. Par conséquent il est considéré que la connaissance de ses origines et antécédents permet de mieux comprendre son état actuel. Cela implique comprendre que les changements technologiques, culturels, sociaux, et idéologiques qui se trouvent à la base de son développement est une condition pour appréhender le système de valeurs, croyances et idéaux que l'informatique incarne actuellement (Breton, 1990).

Pour Breton la théorie cybernétique est le modèle de pensée qui représente le mieux ces changements.

aspectos tecnológicos influyen en el desarrollo del mundo social de la vida.⁵

Haraway, por ejemplo, sugiere la necesidad de un modelo de análisis que señale las relaciones sociales entre la ciencia, la tecnología y los sistemas de mitos y significados que estructuran los imaginarios. Desde esta perspectiva se considera que “[e]l límite es permeable entre herramienta y mito, instrumento y concepto, sistemas históricos de relaciones sociales y anatomías históricas de cuerpos posibles, incluyendo los objetos de conocimiento.” (Haraway, 2003, p. 524) Para Haraway esta reestructuración del mundo a través de las relaciones sociales de la ciencia y la tecnología no constituye un determinismo tecnológico, sino que se trata de un sistema de relaciones estructuradas mediadas por la tecnología. Se entiende entonces que la tecnología no determina, sino que hace posibles ciertas formas de organización.

En relación con esta visión resultan de interés los estudios del campo de la arquitectura computacional que reconocen, como lo plantea Branko Kolarevic, que el campo del diseño computacional, más que un fenómeno determinado por aspectos técnicos, es una manifestación cultural que incluye, entre otras cosas, aspectos tecnológicos, estéticos e ideológicos (Kolarevic, 2003). De manera similar, Burke y Tierney proponen que en una sociedad de redes⁶ el rol del arquitecto está motivado por una preocupación por el desarrollo de las nuevas

La cybernétique est un modèle de pensée qui trouve son origine notamment aux Etats-Unis dans les années d'après guerre (seconde guerre mondiale). Ce paradigme scientifique s'est consolidé autour de la prémisse que tous les phénomènes dans le monde pouvaient être expliqués comme des processus d'échanges et circulations d'informations, comme des systèmes communicationnels, retro alimentés, homéostatiques, et autorégulés. Ces idées résultent de l'échange qui a été établi entre divers développements technologiques et théoriques dans différents domaines (qui ont également joué un rôle important dans l'origine de l'informatique) qui incluent notamment la théorie de l'information de Claude Shannon, le modèle de fonctionnement neuronal comme un système de calcul d'informations de Warren McCulloch, le travail de John von Neuman sur les machines processeurs de codes binaires, et l'articulation proposée par un de ses principales théoriques, Norbert Wiener, de toutes ces notions et développements technologiques dans une théorie de prétentions universelles (Hayles, 1999, p.7).

Considérée comme le modèle qui représente plusieurs des développements qui convergèrent dans l'origine des sciences de l'informatique, la cybernétique apparaît comme le paradigme de pensée qui permet de comprendre les idées, valeurs et changements épistémologiques sur lesquels la culture informatique s'est cimentée. En effet, de nombreux auteurs qui ont étudié les implications socioculturelles du développement des technologies de l'information ont attribué une grande importance au rôle de la cybernétique (Breton, 1995 ; Lafontaine, 2004 ; Hayles, 1999 ; Segal, 2003 ; Mattelar, 2001 ; Lyotard, 2005). Par conséquent il est assez commun de trouver des échos de la pensée des scientifiques comme Wiener, Shannon, McCulloch, Ashby, et von Neuman, entre autres,

⁵ Esta lógica de retroalimentación implica que, desde el punto de vista adoptado, los sistemas técnicos son considerados como artefactos sociales y políticos, mientras que las producciones culturales aparecen como construcciones que son un reflejo, al menos en parte, de los sistemas técnicos involucrados en su producción, al igual que de las condiciones que se encuentran en la base de la consolidación de tales sistemas.

⁶ Los autores se refieren al concepto desarrollado por Manuel Castells, quien define la sociedad de redes como “la estructura social que es característica de lo que se ha llamado por años la sociedad de la información o sociedad post-industrial” (Citado en Burke & Tierney, 2007, p.27)

tecnologías y la manera en que éstas toman forma dentro de los fenómenos sociales y culturales. En este sentido, la producción digital de la arquitectura, antes que determinada por la tecnología, se considera “crecientemente equipada para tratar con las complejidades del espacio en red contemporáneo, desarrollando así nuevos tipos de práctica y explorando nuevos niveles de contextos y condiciones espaciales complejas dentro de ambientes computacionales y reales.” (Burke & Tierney, 2007, p. 27)

Dentro de la misma línea de análisis, Antoine Picon ha señalado que la tecnología es difícilmente la única explicación de los cambios propios de las prácticas de arquitectura digital; especialmente cuando en la producción de la arquitectura tanto depende de factores sociales, culturales y económicos (Picon, 2010, p. 9). Por otra parte, añade Picon, si se piensa en la tecnología como única explicación de los cambios en la definición de los problemas disciplinares de la arquitectura, esa influencia debe ser pensada en términos extensos que incluyan no solamente las técnicas empleadas por los profesionales, sino el contexto general de una sociedad tecnológicamente mediada. Para el autor es indispensable entender los cambios en la profesión de la arquitectura dentro de un largo y complejo contexto histórico que incluye el desarrollo de la informática, los intentos por repensar la arquitectura dentro del marco cibernético y la importancia de la perspectiva computacional en el nacimiento del postmodernismo (Picon, 2010, p. 9).

En un contexto como el propuesto por Picon y desde la perspectiva de los modelos de análisis desarrollados por Latour, Haraway y Hayles, la disertación propone una mirada a las producciones de la arquitectura computacional como construcciones definidas por factores ideológicos y

dans diverses réflexions sur l'informatisation de la société, l'origine du paradigme informationnel, la révolution informatique, ou l'émergence de la société des réseaux.

Si l'on prend compte le rôle fondamental de la pensée cybernétique dans la consolidation de la culture informatique, la compréhension de la vision du monde qui se dégage de ce modèle de pensée devrait aider à penser un domaine comme l'architecture numérique. Crucialement la pensée cybernétique a exercé une influence considérable dans l'architecture depuis le milieu du siècle dernier, particulièrement dans le développement de la perspective digitale dans la profession.

En relation avec cette dernière idée, il faut rappeler l'influence des discours de l'information dans l'origine d'une esthétique basée sur des principes structuraux technoscientifiques. D'après Rocha dans les premières expériences d'architecture avec l'informatique, on observe une claire identification avec deux aspects qui se dégageaient de l'attraction générée a ce moment là par la pensée structuraliste, un modèle qui garde un lien très proche avec la cybernétique. Il s'agit, d'un côté, de l'intérêt pour la linguistique et la sémiologie, et d'un autre côté, du développement des modèles mathématiques et quantitatifs comme outils opératifs et théorique dans l'architecture (Rocha, 2004, pp. 26-30). Sean Keller a également signalé de quelle manière les expérimentations développées à Cambridge s'identifiaient également avec d'autres domaines proches des discours de l'information, comme l'analyse des systèmes et la recherche d'opérations (Keller, 2006, pp. 47-78).

Ces premières recherches sur l'emploi de l'informatique dans la conception architecturale ont marqué notablement l'évolution dans ce domaine, un domaine qui actuellement est encore défini en grand mesure par les mêmes problématiques que durant les premières expériences : la définition des problèmes architecturaux et urbains comme des systèmes, le développement des processus de conception basés sur des méthodes quantitatives et des systèmes formels de représentation, et également sur des techniques de projection

tecnológicos. O sea, como manifestaciones resultantes de la retroalimentación entre la construcción de los problemas disciplinares en referencia a discursos tecno-científicos y la introducción de una pragmática informacional en los procesos de diseño.

1.4 Cultura informática y pensamiento cibernético

El sociólogo de la ciencia Philippe Breton propone una pista interesante para pensar esta relación de retroalimentación. Breton ha planteado que la informática, a pesar de haber sido desarrollada hace varias décadas, y de ser una disciplina en constante evolución, es un campo que sigue estando determinado en gran medida por los principios establecidos en sus inicios. Por lo tanto se asume que el conocimiento de sus orígenes y antecedentes permite entender mejor su estado actual. Esto implica que entender los cambios tecnológicos, culturales, sociales e ideológicos que se encuentran en la base de su desarrollo, es una condición para comprender el sistema de valores, supuestos e ideales que la informática encarna en la actualidad (Breton, 1990). Para Breton la teoría cibernética es el modelo de pensamiento que mejor representa estos cambios.

La cibernética es un modelo de pensamiento que surgió prominentemente en Estados Unidos en los años posteriores a la segunda guerra mundial.⁷ Este paradigma científico se consolidó alrededor de la premisa que todos los fenómenos en el mundo podían explicarse como procesos de intercambio y de circulación de información, como sistemas comunicacionales, retroalimentados,

Ainsi, il est relevant de noter la fréquente caractérisation des problèmes de conception en référence à des concepts importés des champs de recherche comme la théorie des systèmes, la théorie de la complexité, la biologie moléculaire, la biologie du développement, et la logique de la connectivité entre autres. Un aperçu sur les manifestations récentes dans les domaines du dessin numérique permet d'identifier les abondantes références à des concepts comme information, communication, homéostasie, retro-alimentation, auto-organisation, autopoïèse, complexité, non-linéarité, connectivité, réseau, émergence, etc.

L'étude de l'architecture numérique – de ses techniques, contenus, méthodes et productions – implique nécessairement comprendre comment ces concepts opèrent dans les élaborations de l'architecture et d'où ils viennent. Ainsi le problème central de la thèse est de situer le rôle de la pensée cybernétique parmi les constructions de l'architecture numérique. Avec cet objectif il est proposé une analyse des modèles dominants dans ce domaine prenant en compte leurs relations avec une série de modèles de pensée héritées du paradigme cybernétique. Cette analyse devrait aider à comprendre de quelles manières l'introduction d'une pragmatique informatique dans l'architecture s'est articulé avec le développement d'une nouvelle ontologie de la conception, d'une redéfinition des problèmes traditionnels de la profession en fonction des valeurs et idéaux sur lesquels s'est construite la culture informatique.

1.5 La cibernética como paradigma : Hypothèse

Ainsi, la thèse proposée se base sur la prémisse que la perspective numérique en architecture s'est développée main dans la main avec une construction des problème de conception en référence aux paradigme des pensée promulgué par la théorie cybernétique.

⁷ Para una descripción más elaborada de este modelo véase el resumen propuesto en la revisión de la literatura.

homeostáticos y auto-regulados. Estas ideas nacieron como el resultado de la cercanía que se estableció entre diferentes desarrollos tecnológicos y teóricos en diferentes campos – que también han jugado un papel crucial en el origen de la informática –que incluyeron notablemente la teoría de la información de Claude Shannon, el modelo del funcionamiento neuronal como un sistema de procesamiento de información de Warren McCulloch, el trabajo de John von Neuman sobre las máquinas procesadoras de códigos binarios, y la articulación propuesta por uno de sus principales teóricos, Norbert Wiener, de todas estas nociones y desarrollos tecnológicos en una teoría de pretensiones universales (Hayles, 1999, p. 7).

Considerada como el modelo que plasmó en una teoría (de aspiraciones universales) muchos de los desarrollos que confluyeron en el origen de las ciencias de la computación, la cibernética aparece como el paradigma de pensamiento que permite comprender muchas de las ideas y cambios epistemológicos sobre los cuales se ha cimentado la cultura informática. De hecho, numerosos autores que han estudiado las implicaciones socio-culturales del desarrollo de las tecnologías de la información han dado gran importancia al rol de la cibernética en este sentido (Breton, 1995; Lafontaine, 2004; Hayles, 1999; Segal, 2003; Mattelart, 2001; Lyotard, 2005). Por consiguiente es bastante común encontrar ecos del pensamiento de científicos como Wiener, Shannon, McCulloch, von Neumann, entre otros, en diversas reflexiones sobre la informatización de la sociedad, el origen del paradigma informacional, la revolución informática o la emergencia de la sociedad de redes.⁸

Cette hypothèse est développée à travers une analyse basée sur l'exploration de deux idées. La première suggère que les discours sur la performance de l'architecture, discours qui ont dominé l'agenda de recherche des pratiques d'architecture numérique depuis ses origines, constitue une conception cybernétique des problèmes disciplinaires. La deuxième suggère que cette vision cybernétique se trouve au centre des modèles les plus influents développés dans le domaine de l'architecture numérique ; des modèles qui ont promu des visions des problèmes de l'architecture en référence directe à différents champs de recherche étroitement lié aux discours de l'information.

Depuis ce point de vue, les constructions de l'architecture numérique apparaissent comme un travail de médiation qui inclut en plus des problèmes traditionnels de la profession, l'emploi des technologies de l'information et la construction des problèmes de conception autour d'une ontologie, et une épistémologie informationnelle, qui a profondément pénétré la pensée et la culture occidentale contemporaine.

Ce mode d'analyse part de la considération que le domaine du dessin numérique doit être pensé comme une manifestation à la fois culturelle et technique, où les couches technologiques affectent les couches culturelles et vis et versa (Fig. 1). Ainsi la thèse constitue une réflexion sur la manière dont les narratives propres de la pensée cybernétique ont jouées un rôle cruciale dans les constructions de l'architecture numérique et, inversement, sur la manière dont les méthodes numériques de projection apparaissent non comme un aspect déterminant dans les processus de productions de l'architecture, mais comme un moyen d'exploration depuis l'architecture de la vision du monde qui a donné forme à la culture informatique.

La saisie de cette dynamique est cruciale tant pour la compréhension des imaginaires sur lesquels se sont construits les productions digitales de l'architecture, comme pour comprendre les possibles raisons de la tendance dans ce domaine à la réification de ces imaginaires.

⁸ De manera similar, en los estudios sobre los nuevos medios (campo que incluye a la arquitectura computacional entre sus objetos de análisis) varios autores han encontrado resonancias del pensamiento cibernético en manifestaciones culturales

Teniendo en cuenta el rol fundamental del pensamiento cibernético en la consolidación de la cultura informática, la comprensión de la visión del mundo que se desprende de este modelo de pensamiento debería ayudar a entender un campo como la arquitectura computacional. Crucialmente, el pensamiento cibernético ha ejercido una considerable influencia en la arquitectura desde mediados del siglo pasado, particularmente en el desarrollo de la perspectiva computacional en la profesión.

En relación con lo anterior cabe recordar el influjo de los discursos de la información en el origen de una estética basada en principios estructurales tecno-científicos. Según Rocha, en las primeras experiencias de arquitectura y computación se observa una clara identificación con dos aspectos que se desprendían de la atracción que despertaba entonces el pensamiento estructuralista, un modelo que mantiene un estrecho vínculo con la cibernética.⁹ Se trata, por una parte, del interés en la lingüística y la semiología, y por la otra, del desarrollo de modelos matemáticos y cuantitativos como herramienta operativa y teórica en la arquitectura (Rocha, 2004, pp. 26-30). Sean Keller también ha señalado en qué manera las exploraciones desarrolladas en Cambridge se identificaron asimismo con otros campos cercanos a los discursos de la información, como el análisis de sistemas y

1.6 Paradigme situé : Objectif

En accord avec l'hypothèse proposée le principal objectif de la thèse est de situer les idées centrales cybernétiques dans les pratiques contemporaines de l'architecture numérique, montrant de cette façon comment les plus influentes productions dans ce domaine se sont construites autour du paradigme de pensée théorisée par les cybernéticiens.

Avec cet objectif on propose un regard sur trois modèles développés dans ce domaine qui ont exploré diverses visions des objets architecturaux, et qui gardent un lien très proche avec le paradigme cybernétique. Ces modèles se sont basés sur des caractérisations de l'architecture comme des systèmes, des mécanismes génétiques, et comme des phénomènes complexes, auto organisés et émergents qui, en référence aux idées exposées dans la théorie des systèmes, les visions informationnelles de la biologie, et la science de la complexité, ont défini des constructions des objets architecturaux et des processus de conception qui défient les représentations et techniques traditionnelles de l'architecture.

A partir d'une analyse de l'origine cybernétique des discours de la performance de l'architecture on prétend démontrer, dans un premier temps, comment ces modèles ont été élaborés à travers la définition des problèmes des l'architecture en relation avec une série de concepts qui viennent des discours de l'information et, dans un second temps, comment ces constructions s'articulent avec les méthodologies de conception explorées.

Dans chacun des cas analysés il s'agit de répondre à deux questions concrètes. Premièrement, quelles sont les idées

contemporáneas tan diversas como la literatura experimental de William Burroughs y del grupo *Oulipo*, el origen del video arte, la aparición del concepto de *cyborg* como modelo en los estudios culturales, la emergencia de Internet y, desde luego, en algunas de las primeras experiencias de arquitectura computacional. Entre estas se pueden mencionar las investigaciones de LUBFS, del *Architecture Machine Group* de Nicholas Negroponte y del *Design Research Center* de Chuck Eastman, que operó bajo la influencia del pensamiento de Herbert Simon. Respecto al desarrollo de las primeras herramientas de diseño digital en MIT, Daniel Cardoso Llach muestra en su disertación doctoral de qué manera los ingenieros del *Computer Aided Design Project* imaginaron el diseño inspirándose en los dictados de la cibernética (Cardoso, 2012, p. 48).

⁹ Véase al respecto: Dosse, F., 1995. *Histoire du structuralisme* y Lafontaine, C., 2004. *L'empire cybernétique. Des machines à penser à la pensée machine*.

la investigación de operaciones (Keller, 2006, pp. 47-48).

Estas primeras investigaciones sobre el empleo de la informática en el diseño han marcado notablemente la evolución de la arquitectura computacional, un campo que actualmente sigue definiéndose en gran medida por las mismas cuestiones planteadas en las primeras experiencias: la definición de los problemas arquitectónicos y urbanos como sistemas, el desarrollo de procesos de diseño basados en métodos cuantitativos y en sistemas formales de representación, al igual que la elaboración de técnicas de proyectación que integran conceptos heredados de diversos modelos científicos cercanos a la cibernética.

Respecto a esto último, es relevante la frecuente caracterización de los problemas de diseño en referencia a conceptos importados de campos como la teoría de sistemas, la teoría de la complejidad, la biología molecular, la biología del desarrollo y la lógica de la conectividad, entre otros. Una mirada rápida a la variedad de manifestaciones recientes en el campo del diseño computacional permite identificar abundantes referencias a nociones como información, comunicación, homeostasis, retroalimentación, auto-organización, autopoiesis, complejidad, no linealidad, conectividad, redes, emergencia, etcétera.

El estudio del campo del diseño computacional – de sus técnicas, contenidos, métodos y producciones – implica necesariamente entender cómo operan estos conceptos en las elaboraciones de la arquitectura y de donde vienen. Por lo tanto, el problema central planteado por la disertación es situar el rol del pensamiento cibernético en las elaboraciones de la arquitectura computacional. Con este fin se propone un análisis de los modelos dominantes

promues pas les modèles de référence et quel es sa relation avec la pensée cybernétique. Deuxièmement, quelles visions de l'architecture se sont construites autour de ces idées et comment elles s'articulent avec les méthodes des conceptions élaborées.

A travers cette analyse on entend montrer que le rôle de l'informatique ne peut pas être considéré ni comme un aspect neutre ni comme un aspect déterminant dans les productions de l'architecture numériques. Contrairement à ces positions, la thèse aspire à situer l'architecture numérique comme un domaine qui s'inscrit dans le complexe réseau des échanges sociotechniques qui définissent l'épistème informationnel.

Quelques années en arrière, William Mitchell et Malcom McCullough alertaient sur l'importance d'analyser de manière critique les conditions qui structurent le travail intellectuel des architectes dans le contexte d'une croissante informatisation de la profession (Mitchell et McCullough, 1995, p.8). En accord avec ce besoin identifié par Mitchell et McCullough, cette thèse aspire à être un apport pour la compréhension de ce contexte. En situant l'influence des discours de l'information comme une des conditions qui ont structuré le travail intellectuel des architectes, la thèse entend aider à la construction d'un regard critique de la production digitale de l'architecture.

Dans ce sens, après l'analyse, sera présentée une réflexion qui explore comment la construction cybernétique des problèmes architecturaux peut être fructifiant pour la production de l'espace contemporain, et démontre par ailleurs que l'élaboration des problèmes en architecture basés sur des technologies et/ou des métaphores technoscientifiques résultent problématiques quand ces recours s'autonomisent des autres facteurs qui définissent les problèmes disciplinaires.

1.7 Concepts nomades : Méthodologie

Le travail réalisé est le résultat de l'analyse comparative d'un corpus bibliographique constitué par des textes sélectionnés qui comprennent des travaux sur les développement et l'évolution de la perspective numérique en architecture, monographies et articles d'architectes impliqués dans ce domaine et une série de textes de divulgation sur le champs de connaissance qui ont informé les pratiques

en este campo, teniendo en cuenta su relación con una serie de modelos de pensamiento herederos del paradigma cibernético. Este análisis debería ayudar a comprender de qué manera la introducción de una pragmática computacional en la arquitectura se ha articulado con el desarrollo de una nueva ontología del diseño, de una redefinición de los problemas tradicionales de la profesión en función de los valores, supuestos e ideales sobre los que se ha construido la cultura informática.

1.5 La cibernética como paradigma: Hipótesis

Teniendo en cuenta lo anterior, la disertación propuesta se basa en la premisa que la perspectiva computacional en la profesión se ha desarrollado de la mano con la construcción de los problemas de la arquitectura en referencia al paradigma de pensamiento promovido por la teoría cibernética.

Esta hipótesis se desarrolla a través de un análisis basado en la exploración de dos ideas. La primera sugiere que los discursos sobre el *performance* de la arquitectura, que han dominado en gran medida la agenda de investigación de las prácticas de arquitectura computacional desde sus inicios, constituyen una concepción cibernética de los problemas disciplinares. La segunda plantea que esta visión cibernética se encuentra en el centro de los más influyentes modelos elaborados en el campo del diseño computacional, modelos que han promovido visiones de los problemas de la arquitectura en referencia directa a diferentes campos de investigación estrechamente vinculados con los discursos de la información.

Desde esta perspectiva, las elaboraciones de la

analysées : la cybernétique, la théorie des systèmes, l'émergence des modèles informationnelles dans la biologie et la théorie de la complexité. L'analyse s'est également nourri de l'étude d'une ample bibliographie composée de textes sur les théories et critiques de l'architecture contemporaine, l'histoire de l'informatique, la sociologie de la science et les études sur les nouveaux médias.

L'étude se base sur l'analyse de comment les postulats centrales de la théorie cybernétique ont transité vers d'autres champs de la connaissance qui ont informé les modèles numériques de conception ici étudiés. A partir de ce travail, on a étudié comment les constructions digitales de l'architecture se sont développées en référence à des concepts hérités des domaines mentionnés ci-dessus.

Même si cette approche ne comprend pas la totalité des explorations de l'architecture autour des métaphores d'origine cybernétique, les caractérisations systémiques, génétiques, et/ou complexes des problèmes de conception constituent les axes dominants sur lesquels se sont développés une grande partie des pratiques digitales de l'architecture. Pour cette raison ces explorations méritent une attention spéciale ; de plus elles sont particulièrement représentatives de la dynamique de transfert des concepts cybernétiques invoqués au centre de la problématique de cette thèse.

Pour illustrer ce processus de transfert, chaque chapitre a inclus une série de références à des projets et textes d'architectes (ou des théories de l'architecture) qui documentent la construction des problèmes disciplinares par rapport à des notions cybernétiques. L'inclusion de ces exemples ne prétend aucunement être un échantillon représentatif de la variété des pratiques qui peuvent être associées à chacun des sujets abordés. Cependant ces exemples constituent des cas paradigmatiques qui résument assez bien le panorama global de la production digitale de l'architecture ; par conséquent le type d'analyse proposée peut être généralisé à différentes expressions qui peuvent être étudiées depuis la même perspective.

arquitectura computacional aparecen como un trabajo de mediación que incluye, además de los problemas tradicionales de la arquitectura, el empleo de las tecnologías de la información y la construcción de los problemas de diseño en torno a una ontología y una epistemología informacional, que ha penetrado profundamente el pensamiento y la cultura occidental contemporánea.

Este modo de análisis parte de la consideración que el campo del diseño computacional debe pensarse como una manifestación a la vez cultural y técnica, donde las capas tecnológicas afectan a las capas culturales y viceversa (Fig.1). Así, la disertación consiste en una indagación sobre cómo las narrativas propias del pensamiento cibernético han jugado un papel crucial en las elaboraciones de la arquitectura computacional; e inversamente, sobre cómo los métodos computacionales de proyectación aparecen, no como un factor determinante en los procesos de producción de la arquitectura, sino como el medio de exploración, desde la profesión, de la visión del mundo que ha dado forma a la cultura informática.

La comprensión de esta dinámica es crucial tanto para entender los imaginarios sobre los que se han construido las producciones digitales de la arquitectura, como para entender las posibles razones de la tendencia a cosificar estos imaginarios en muchas prácticas contemporáneas de arquitectura digital.

Le choix des exemples s'est opéré à partir de trois critères. Premièrement, on a sélectionné les travaux d'architectes qui ont présenté des visions des problèmes de conception en référence aux thèmes cybernétiques, et en particulier aux discours scientifiques de référence traités dans chaque chapitre. Pour cette raison, dans un second temps, on a privilégié l'analyse du travail des architectes qui ont présenté leur conception de l'architecture à travers des monographies et/ou des articles publiés par les principaux éditoriaux et revues qui ont promu la diffusion de l'architecture digitale. L'origine Britannique et Nord américain de la plupart de ces publications expliquent que les exemples cités proviennent presque exclusivement d'un contexte Européen et Nord Américain, qui a été également l'épicentre de développement et évolution de la perspective numérique en architecture. Le troisième critère de sélection s'est basé sur la visibilité des architectes et/ou projets cités. Dans la mesure du possible les sujets traités ont été illustrés à travers des références à des productions (théoriques ou pratiques) des professionnels qui ont une certaine reconnaissance dans le paysage architectonique international et dont ses apports au développement du domaine sont suffisamment reconnus.

1.8 Structure de la thèse

La thèse est divisé en trois parties : la première (chapitre 2) constitue une révision des principaux concepts sur lesquels s'est construit la thèse ; la deuxième (chapitre 3, 4, 5, 6) correspond à l'analyse de l'influence de la pensée cybernétique dans le domaine de l'architecture numérique ; la troisième (chapitre 7, 8, 9) comprend une réflexion sur la relevance de l'étude pour la construction d'un regard critique du domaine de l'architecture digitale, quelques conclusions générales par rapport aux hypothèses avancées, et une annexe où un projet pédagogique qui explore l'intégration des outils digitales de conceptions et les méthodes élaborées par le laboratoire Cresson est présenté.

Dans le chapitre 2 sont abordés les deux questions essentielles qui se trouvent au centre de la réflexion : la relation complexe entre le culturel et le technologique et le rôle fondamental de la théorie cybernétique pour le développement du paradigme informationnel.

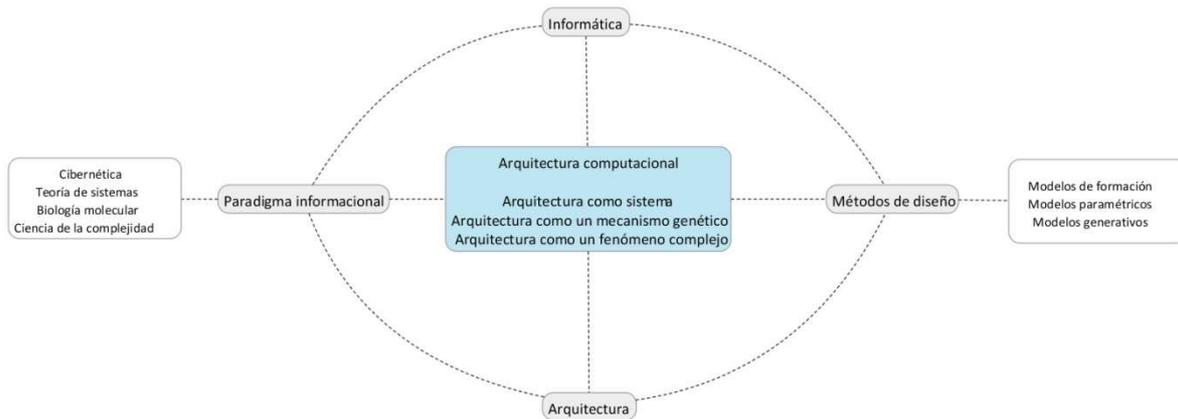


Figura 1. El análisis planteado parte de estudiar las elaboraciones de la arquitectura computacional como un campo definido por la retroalimentación entre referencias cruzadas a los discursos de la información, los métodos computacionales introducidos en el diseño y la consecuente redefinición de los problemas disciplinares de la arquitectura.

1.6 Paradigma situado: Objetivo

De acuerdo con la hipótesis planteada, el principal objetivo de la disertación es situar la influencia de las ideas centrales de la teoría cibernética en las prácticas contemporáneas de arquitectura computacional, mostrando así en qué sentido algunas de las elaboraciones más influyentes en este campo se han construido alrededor del paradigma de pensamiento teorizado por los cibernéticos.

Con este objetivo se plantea una mirada a tres influyentes aproximaciones al diseño exploradas en el campo de la arquitectura computacional, que han explorado diferentes visiones de los objetos arquitectónicos que mantienen un estrecho vínculo con el paradigma cibernético. Estos modelos se han basado en caracterizaciones de la arquitectura como sistemas, como mecanismos genéticos y como fenómenos complejos, auto-organizados y emergentes, que en referencia a las ideas expuestas en la teoría de sistemas, las visiones informacionales de la biología y la ciencia de la complejidad, han definido

En ce qui concerne la relation entre culture et technologie, un regard est proposé sur deux modèles dominants qui analysent cette relation : le déterminisme technologique et le culturalisme. Cette analyse permet d'identifier les inconvénients des deux modèles et présente la nécessité d'adopter un modèle qui rend compte des échanges complexes entre le pôle de la science et de la technologie et le pôle de la culture. Cette vision complexe est au centre des modèles développés par des auteurs tels que Bruno Latour, Katherine Hayles, Donna Haraway, qui ont avancé une vision du technologique et du culturel comme des aspects des productions humaines qui se composent ensemble. La lecture de ce modèle permet de les mettre en relation avec des concepts développés par des théoriciens des nouveaux médias, comme Janeth H. Murray et Lev Manovich, dont les analyses apportent des idées intéressantes pour penser les productions de l'architecture numériques comme des manifestations culturelles et techniques.

En ce qui concerne la théorie cibernétique, une synthèse des idées centrales qui ont donné forme à ce modèle de pensée est présentée, suivi par un panorama global sur la manière dont les idées cibernétiques se sont répandues vers d'autres domaines de la connaissance, au point de devenir un des paradigmes scientifiques les plus influents depuis la moitié du XXe siècle. Une des questions centrales pour le développement de la thèse est basée sur la relation entre la cibernétique et les champs de la connaissance autour desquels se sont construits les modèles analysés dans les chapitres 4, 5, et 6. L'analyse de cette relation sera incluse dans la réflexion avancée dans chacun de ces chapitres.

elaboraciones de los objetos arquitectónicos y de los procesos de diseño que desafían las representaciones y técnicas tradicionales de la arquitectura.

Partiendo de un análisis del origen cibernético de los discursos del *performance* en la arquitectura, se pretende mostrar, en primer lugar, cómo estos modelos se han elaborado mediante la definición de los problemas de la profesión en relación directa a una serie de conceptos que emanan de los discursos de la información, y, en segunda instancia, cómo estas elaboraciones se articulan con las metodologías de diseño concebidas.

En cada uno de los casos analizados se trata de responder a dos cuestiones concretas. Primero, cuáles son las ideas centrales promovidas por los modelos de referencia y cuál es su relación con el pensamiento cibernético. Segundo, qué visiones de la arquitectura se han construido alrededor de éstas ideas y cómo se articulan estas visiones con las metodologías de diseño desarrolladas.

Mediante este análisis se pretende mostrar que el rol de la informática no puede considerarse ni como un factor neutral, ni como el aspecto determinante en las producciones de la arquitectura computacional. En oposición a estas visiones del impacto del hecho tecnológico en las producciones culturales, la disertación pretende situar la arquitectura computacional como un campo que se inscribe dentro de la compleja red de intercambios socio-técnicos que definen el espíteme informacional.

Hace algunos años William Mitchell y Malcom McCullough advertían sobre la importancia de analizar críticamente las condiciones que estructuran el trabajo intelectual de los arquitectos en el contexto de la creciente informatización

Dans le chapitre 3 il est proposé une lecture sur la manière dont le discours de la performance de l'architecture a constitué une réélaboration des problèmes de l'architecture par rapport aux postulats de la cybernétique. Ceci est fondamental pour comprendre comment la construction cybernétique des problèmes disciplinaires se trouve à la base de la perspective numérique en architecture depuis ses origines. Cette analyse permet d'explorer dans quelle mesure cette même vision est sous jacente aux constructions systémiques, génétiques et complexes de l'architecture numérique étudiés dans les chapitres 4, 5 et 6.

Dans le chapitre 4 est présenté une analyse sur la manière dont une des idées dominantes des explorations de l'architecture numérique a été la conception des objets architecturaux comme des systèmes. Partant d'une explication des concepts centraux de la théorie des systèmes, et de sa relation avec la cybernétique, dans ce chapitre il est démontré de quelle façon, depuis une perspective systémique, les bâtiments et les processus de conception ont été conçus comme des totalités organisées, comme des ensembles d'éléments intégrés avec le contexte. Cette analyse intègre également un regard sur la manière dont ce type d'élaboration des problèmes architecturaux a favorisé la construction des analogies organiques dans la profession, aspect central pour le développement des modèles explorés dans les chapitres 5 et 6.

Ainsi, dans le chapitre 5, à partir de l'analyse de l'influence de la pensée informationnelle dans la biologie, est proposé un regard sur la manière dont le développement des méthodes génétiques dans la conception s'est inspiré de la vision cybernétique des mécanismes génétiques dans les organismes. Depuis cette perspective il est étudié comment ces modèles ont redéfinis les problèmes architecturaux en référence à des concepts de champs comme la biologie moléculaires et la biologie évolutive, et à une série de techniques développées dans le champ de la bioinformatique, à partir desquels les processus de conception ont été conçus comme des phénomènes génératifs et émergents.

Poursuivant cette réflexion, dans le chapitre 6 est étudié la façon dont les caractérisations génétiques de l'architecture ont ouvert une brèche vers une considération de l'architecture

de la profesión (Mitchell & McCullough, 1995, p. 8). De acuerdo con la necesidad señalada por Mitchell y McCullough, esta disertación tiene como objetivo ser un aporte para la comprensión de este contexto. Al situar el influjo de los discursos de la información como una de las condiciones que han estructurado el trabajo intelectual de los arquitectos digitales, la disertación aspira a contribuir a la construcción de una mirada crítica de la producción computacional de la arquitectura.

En este sentido al final del análisis se presenta una reflexión que señala en qué sentido la construcción cibernética de los problemas de la arquitectura puede ser fructífera para la producción del espacio contemporáneo, al tiempo que se argumenta que la elaboración de los problemas de la arquitectura en base a tecnologías y/o metáforas tecno-científicas resulta problemática cuando dichos recursos se autonomizan de los múltiples factores que definen los problemas disciplinares.

1.7 Conceptos nómadas: Metodología

La disertación es el resultado del análisis comparativo de un corpus bibliográfico, constituido por textos seleccionados que incluyen trabajos sobre el desarrollo y la evolución de la perspectiva computacional en la arquitectura, monografías y artículos de arquitectos implicados en el campo y una serie de libros y artículos de divulgación sobre los campos del conocimiento que han informado las prácticas de arquitectura computacional analizadas: la cibernética, la teoría de sistemas, la emergencia de los modelos informacionales en la biología y la teoría de la complejidad. El análisis también se ha nutrido del estudio de una amplia bibliografía que incluye

comme un phénomène complexe, c'est-à-dire, comme des systèmes émergents et auto organisés. Comme dans le chapitre précédent, l'analyse part de l'examen des principaux postulats de la théorie de la complexité et de sa relation avec la cybernétique, pour ensuite analyser sa relation avec les modèles émergents de conception.

Dans le chapitre 7 est présentée une réflexion qui indique de quelle façon le sujet de recherche proposé constitue un outil utile pour la construction d'une vision critique de la production numérique de l'architecture. Partant d'une discussion sur le caractère utopique, prototypique et écologique propre aux constructions cybernétiques de l'architecture, quelques aspects significatifs de ces changements de paradigmes sont mis en valeur ainsi que certains aspects controversés qui méritent cependant une attention particulière.

Dans le chapitre 8 sont présentées les conclusions générales, quelques notes sur les apports et les limites de la thèse, mais également sur les perspectives de recherche qui se dégagent du travail réalisé.

Dans le chapitre 9 est présenté un article annexe qui décrit un projet pédagogique en cours qui a été développé dans le cadre de mes échanges avec l'ENSAG et le laboratoire Cresson. Le projet s'est focalisé sur le développement d'une méthodologie de projection orienté vers l'exploration du potentiel des outils du dessin paramétrique comme support pour l'agenda de recherche promu par le laboratoire Cresson.

1.9 Implication dans le domaine

Cette recherche fait partie d'un travail de réflexion sur le rôle de l'informatique dans la profession qui commença il y a quelques années avec la rédaction d'une mémoire de DEA qui questionnait le rapport entre l'emploi des nouvelles technologies de dessin et représentation, et la construction de nouveaux imaginaires dans l'architecture contemporaine.

Depuis mon travail de recherche s'est centré tant ans la compréhension du rôle assigné aux technologies de l'informatique dans la profession comme dans la connaissance technique des outils numériques de conception.

principalmente textos sobre la teoría y crítica de la arquitectura contemporánea, al igual que una serie de trabajos relevantes sobre la historia de la informática, la sociología de la ciencia y los estudios de los nuevos medios.

El estudio propuesto se basa en el análisis de cómo los postulados centrales de la teoría cibernética han transitado hacia diferentes campos del conocimiento que han informado los modelos computacionales de diseño aquí estudiados. En base a este trabajo se ha llevado a cabo un examen de cómo las elaboraciones digitales de la arquitectura se han construido en referencia a conceptos heredados de la teoría de sistemas, los modelos informacionales en la biología y la ciencia de la complejidad.

Aunque el estudio no abarca la totalidad de las exploraciones de la arquitectura en torno a metáforas tecno-científicas de origen cibernético, las caracterizaciones sistémicas, genéticas y/o complejas de los problemas de diseño constituyen los ejes dominantes sobre los cuales se han desarrollado una gran parte de las prácticas digitales de la arquitectura. Por este motivo se ha considerado que estas exploraciones merecen especial atención, además de ser éstas particularmente representativas de la dinámica de transferencia de conceptos cibernéticos que se encentra en el centro de la problemática planteada por la tesis.

Para ilustrar este proceso de transferencia, en cada capítulo se incluyen una serie de referencias a proyectos y textos de arquitectos (o teóricos de la arquitectura) que ejemplifican la construcción de los problemas disciplinares en referencia a nociones de origen cibernético. La inclusión de estos ejemplos no pretende de ningún modo

Par conséquent, en plus de l'exploration théorique ici présentée (dont la problématique a été présentée dans deux articles publiés dans la Revue d'Architecture de l'Université de Los Andes et dans les Actes du colloque international « Materiality in its Contemporary Forms : Architectural Perception Fabrication and Conception ») j'ai dédié une partie de mon travail à la recherche de l'application des outils numériques dans la conception.

Ainsi dans le cadre de mes activités de recherche j'ai également participé, en tant qu'étudiant, au master « Advanced Design and Digital Architecture » à l'École Supérieure de Design et Ingénierie de Barcelone, et en tant qu'enseignant assistant de dessin paramétrique et projet dans le master « Architecture, Ambiances, et Culture Numérique » à l'école nationale supérieure d'architecture de Grenoble (c'est dans ce contexte que j'ai développé le projet pédagogique présenté, comme annexe de la recherche, dans le chapitre 9).

ser un muestreo representativo de la variedad de prácticas de diseño que pueden asociarse con cada uno de los temas abordados. Sin embargo, estos ejemplos sí constituyen casos paradigmáticos que resumen bastante bien el panorama global de la producción digital de la arquitectura; así, el tipo análisis planteado puede generalizarse a diferentes expresiones que pueden estudiarse desde la misma perspectiva.

La elección de los ejemplos que ilustran los temas planteados se hizo en base a tres criterios. Primero que todo, se seleccionó el trabajo de arquitectos que han presentado visiones de los problemas de diseño en clara referencia a los idiomas cibernéticos y en particular a los discursos científicos de referencia tratados en cada capítulo. Por este motivo, aquí aparece el segundo criterio de selección, se privilegió el análisis del trabajo de arquitectos que han plasmado su concepción de la arquitectura mediante monografías y/o artículos publicados por algunas de las principales editoriales¹⁰ y revistas¹¹ que han promovido la difusión de la arquitectura digital. El origen británico y estadounidense de la mayoría de estas publicaciones explica que los ejemplos citados provengan casi exclusivamente de este un contexto europeo y norteamericano (contexto que ha sido asimismo el epicentro del desarrollo y evolución de la perspectiva computacional en la arquitectura). El tercer criterio de selección fue la visibilidad de los arquitectos y/o proyectos citados. En la medida de lo posible se ha tratado de ilustrar los temas tratados mediante la referencia a las producciones (teóricas y/o prácticas) de profesionales que gozan de cierto reconocimiento en el paisaje arquitectónico contemporáneo internacional y cuyos aportes al desarrollo del campo de la arquitectura digital son suficientemente conocidos.

1.8 Estructura de la disertación

La disertación está dividida en tres partes: la primera parte (Capítulo 2) constituye una revisión de los principales conceptos alrededor de los cuales se ha construido el argumento; la segunda parte (Capítulos 3, 4, 5 y 6) corresponde al análisis del influjo del pensamiento cibernético en el campo de la arquitectura computacional; la tercera parte (Capítulos 7, 8 y 9) comprende una reflexión sobre la relevancia del estudio para la construcción de una mirada crítica del campo de la arquitectura computacional, algunas conclusiones generales respecto a las tesis centrales exploradas, y un anexo

¹⁰ Routledge, John Wiley & Sons, Spoon Press, Princeton Architectural Press.

¹¹ *Architectural Design, Environment and Planning B, Design Studies, The Journal of Architecture and Computation, International Journal of Architectural Computation.*

donde se presenta un proyecto pedagógico (en curso) que explora la integración de las herramientas computacionales de diseño y los métodos elaborados en el laboratorio Cresson.

En el Capítulo 2 se abordan las dos cuestiones esenciales que se encuentran en el centro la reflexión planteada: el rol de lo tecnológico en la cultura y el papel fundamental de la teoría cibernética en el desarrollo del paradigma informacional.

En lo concerniente a la relación entre cultura y tecnología, se da una mirada a dos de los modelos dominantes desde los cuales se ha analizado esta relación: el determinismo tecnológico y el culturalismo. Este análisis permite identificar los inconvenientes de los dos modelos y señala la necesidad de adoptar un modelo que dé cuenta de los intercambios complejos entre el polo de la ciencia y la tecnología y el polo de la cultura. Esta visión compleja es provista por los modelos desarrollados por autores como Bruno Latour, Katherine Hayles y Donna Haraway, quienes promueven una visión de lo tecnológico como un aspecto de las producciones culturales que es indisociable de una compleja red de factores que se retroalimentan. La lectura de estos modelos permite relacionarlos con algunos conceptos desarrollados por teóricos de los nuevos medios, como Janeth H. Murray y Lev Manovich, cuyos análisis proveen ideas interesantes para pensar las producciones de la arquitectura computacional como manifestaciones ideológicas y técnicas.

En cuanto a la teoría cibernética, se presenta una síntesis de las ideas centrales que dieron forma a este modelo de pensamiento, y posteriormente se propone un panorama global de cómo sus ideas se expandieron hacia otras áreas del conocimiento, al punto de convertirse en uno de los paradigmas científicos más influyentes desde mediados del siglo XX. Una de las cuestiones centrales para el desarrollo de la disertación es la relación entre la cibernética y los campos científicos alrededor de los cuales se han construido los modelos analizados en los capítulos 4, 5 y 6. El análisis de esta relación se incluirá dentro de la reflexión planteada en cada uno de estos capítulos.

En el Capítulo 3 se propone una lectura de cómo los discursos del *performance* de la arquitectura han constituido una re-elaboración de los problemas de la arquitectura en base a los postulados de la cibernética. Lo anterior es fundamental para entender cómo la construcción cibernética de los problemas disciplinares se encuentra en la base de la perspectiva computacional en la arquitectura desde sus orígenes. Este análisis permite explorar en qué medida esta misma visión subyace a las construcciones sistémicas, genéticas y complejas de la arquitectura computacional, estudiadas en los capítulos 4, 5 y 6.

En el Capítulo 4 se plantea un análisis de cómo una de las ideas dominantes en las exploraciones de la arquitectura computacional ha sido la concepción de los objetos arquitectónicos como sistemas.

Partiendo de una explicación de los temas centrales de la teoría de sistemas, y de su relación con la cibernética, en este capítulo se muestra de qué modo, desde una perspectiva sistémica, los edificios y los problemas de diseño han sido pensados como totalidades organizadas, como conjuntos de elementos altamente integrados con el contexto. El análisis también comprende una mirada a cómo este tipo de elaboración de los problemas arquitectónicos ha fomentado la construcción de analogías orgánicas en la profesión, central para el desarrollo de los modelos explorados en los capítulos 5 y 6.

En referencia esto último, en el Capítulo 5, a partir del análisis del influjo del pensamiento informacional en la biología, se propone una mirada a la manera en que el desarrollo de los métodos genéticos en el diseño se ha informado de la visión cibernética de los mecanismos de la herencia en los organismos. Desde esta perspectiva se estudia cómo estos modelos han redefinido los problemas arquitectónicos en referencia a conceptos heredados de campos como la biología molecular y la biología evolutiva, al igual que a una serie de técnicas desarrolladas en el campo de la biología computacional, desde las cuales los procesos de diseño se han pensado como fenómenos generativos y emergentes.

Siguiendo esta pista, en el Capítulo 6 se estudia cómo las caracterizaciones genéticas de la arquitectura han dado paso a su consideración como fenómenos complejos, o sea, como sistemas emergentes y auto-organizados. Al igual que en los capítulos precedentes, el análisis propuesto parte del examen de los principales postulados de la teoría de la complejidad y su relación con la cibernética, para posteriormente analizar su relación con los modelos emergentes de diseño.

En el Capítulo 7 se presenta una reflexión que indica de qué modo el tema de investigación planteado constituye una herramienta útil para la construcción de una visión crítica de la producción digital de la arquitectura. A partir de una discusión sobre el carácter utópico, prototípico y ecológico propio de las construcciones cibernéticas de la arquitectura, se señalan algunos aspectos significativos de este cambio de paradigma para la producción de la arquitectura, al igual que ciertos aspectos controversiales que merecen ser discutidos.

En el Capítulo 8 se presentan las conclusiones generales, algunas notas sobre el alcance y limitaciones del estudio, al igual que sobre las perspectivas de investigación que se desprenden del trabajo realizado.

En el Capítulo 9 se presenta un artículo anexo, en el cual se exhibe un proyecto pedagógico, en curso, que he venido desarrollando en el marco de mi vínculo con la ENSAG (*École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble*) y el laboratorio Cresson (*Centre de Recherche sur l'Espace Sonore Urbain*). El proyecto presentado se enfoca en el desarrollo de una metodología de

proyectoria orientada a explorar el potencial de las herramientas de diseo paramtrico como soporte para la agenda investigaci3n elaborada por el laboratorio Cresson .

1.9 Implicaci3n en el campo

Esta disertaci3n es parte de un trabajo de reflexi3n sobre el rol de la informtica en la profesi3n que inici3 hace algunos aros, a trav3s de la escritura de una tesis de maestr3a que indagaba sobre la relaci3n entre el empleo de las nuevas tecnolog3as de diseo y representaci3n y la construcci3n de nuevos imaginarios en la arquitectura contempor3nea.

Desde entonces mi trabajo de investigaci3n se ha centrado tanto en la compresi3n del papel asignado a las tecnolog3as de la informaci3n en la profesi3n, como en el conocimiento t3cnico de las herramientas digitales de diseo.

Por lo tanto, adem3s de la exploraci3n te3rica aqu3 presentada – cuya problem3tica he expuesto en dos art3culos publicados en la Revista de Arquitectura de la Universidad de los Andes y en las actas del congreso internacional “Materiality in its Contemporary forms: Architectural Perception, Fabrication and Conception” – he dedicado parte de mi trabajo a la investigaci3n de la aplicaci3n de las herramientas computacionales en el diseo.

As3, dentro del marco de mis actividades de investigaci3n tambi3n he participado como estudiante en el m3ster “*Advanced Design and Digital Architecture*” en la Escuela Superior de Diseo e Ingenier3a de Barcelona, y como profesor asistente de diseo paramtrico y proyectos en el m3ster “*Architecture, Ambiances et Cultures Num3riques*” en la *École Nationale Supérieure d’Architecture de Grenoble* (contexto en el que he venido desarrollando el proyecto pedag3gico presentado, a manera de anexo, en el cap3tulo 9).

2. Revisión de la literatura

2.1 Resumen

Dos cuestiones fundamentales se encuentran en el centro de la reflexión planteada en las páginas anteriores: el rol asignado a lo tecnológico en la cultura y el papel fundamental de la teoría cibernética en el desarrollo del paradigma informacional. A continuación se propone una breve explicación de algunos conceptos clave y se plantean ciertas reflexiones alrededor de estos dos temas, sobre las cuales se ha construido el argumento de la disertación.

La primera cuestión, ineludible en el campo de investigación abordado, tiene que ver con la condición de las prácticas de diseño computacional como manifestaciones culturales mediadas por aspectos técnicos. Esto implica que su estudio no puede dejar de lado el problema central de la relación compleja entre la producción cultural y la tecnología. Aquí se presentan algunas reflexiones respecto al modelo de análisis adoptado, y sobre cómo este modelo abre pistas interesantes para pensar el rol del pensamiento cibernético en el campo del diseño computacional.

Posteriormente se propone una introducción sintética a las ideas y conceptos centrales del pensamiento cibernético, marco de referencia esencial para comprender la reflexión aquí planteada, seguida de unos breves comentarios sobre la expansión de sus ideas hacia otras disciplinas, incluida la arquitectura.

Este análisis bibliográfico señala tres aspectos cruciales para el argumento de la disertación. Primero, el rol de la cibernética como disciplina primaria que ha dirigido un cambio de paradigma en diferentes áreas del conocimiento; segundo, el influjo cibernético en el desarrollo de la perspectiva computacional en la arquitectura; tercero, la necesidad de analizar este aspecto desde el punto de vista de los modelos que conciben la construcción de lo cultural como un proceso que incluye aspectos técnicos, o sea, como un proceso de retroalimentación entre artefactos e ideas donde no hay una dicotomía entre cultura y tecnología.

Es en referencia a estas ideas que se ha planteado el problema central de la disertación, que, como se ha visto arriba, apunta a señalar de qué modo los modelos dominantes en el campo de la arquitectura computacional se han elaborado mediante referencias cruzadas entre las narrativas puestas en circulación por la cibernética y las tecnologías computacionales introducidas en los

procesos de diseño, dando paso a una redefinición, en base a una ontología y epistemología cibernética, de los problemas tradicionales de la arquitectura.

2.2 Cultura y tecnología

Anteriormente se planteó la necesidad de superar los modelos de análisis deterministas para estudiar las manifestaciones de la arquitectura computacional, un terreno de exploración donde el uso de herramientas digitales y la definición de los problemas de la arquitectura en base a modelos de pensamiento ligados al paradigma informacional han jugado un rol significativo. Esta condición obliga a tratar las manifestaciones de la arquitectura computacional como expresiones definidas por aspectos ideológicos y como eventos técnicos. Por esta razón, la cuestión del papel asignado a lo tecnológico en las producciones culturales se considera un factor crucial para el análisis planteado.

La reflexión propuesta implica una serie de preguntas respecto al rol de las tecnologías de la información en la arquitectura. Estas preguntas son muy similares a las que los estudios sobre la relación entre lo tecnológico y lo cultural tratan de responder: ¿es neutral la tecnología? O, por el contrario, ¿tienen las tecnologías propiedades intrínsecas que determinan las culturas, o las manifestaciones culturales, en las que estas se desarrollan o se introducen? Y, si este es el caso, ¿cómo evaluar su impacto cultural?

2.2.1 ¿Determinismo o neutralidad de la técnica?

Teniendo en cuenta que el origen de la informática estuvo íntimamente ligado al desarrollo de nuevos paradigmas de pensamiento – entre ellos la teoría cibernética –, aquí se parte de considerar que la informática no es una tecnología neutral, sino que se trata de un conjunto de técnicas portadoras de una serie de contenidos que se reflejan en su pragmática y sus aplicaciones. Por lo tanto, la pregunta que surge es si esta condición constituye un aspecto determinante para las manifestaciones culturales basadas en su utilización. La premisa central de la disertación, según la cual las narrativas puestas en circulación por la cibernética han sido una influencia mayor para las manifestaciones más significativas del campo de la arquitectura digital, parecería apuntar en este sentido.

No obstante, aquí también se ha manifestado que los análisis deterministas resultan inconvenientes, pues conducen a visiones de la tecnología como un sujeto autónomo y tecnocrático, y a considerar las cuestiones tecnológicas como factores aislados de las complejas redes que definen tanto los

aspectos técnicos de la profesión, como todos los demás aspectos involucrados la elaboración teórica y la materialización de la arquitectura (Moe & Smith, 2012, p. 2).

En los análisis deterministas, herederos de la teoría marxista de la base y la superestructura, la tecnología es considerada como un agente de cambio social, con frecuencia asociado a una idea de progreso, y, por lo tanto, como un factor independiente, con propiedades inherentes y un curso de desarrollo autónomo. En consecuencia el cambio tecnológico es concebido como un proceso libre de factores sociales que sigue una lógica propia, y se asume que su implementación a gran escala generaría por sí mismo un nuevo tipo de sociedad (Murphie & Potts, 2003, p. 12).

Este es el tipo de análisis planteado por Marshall McLuhan y Jean Baudrillard, dos de los pensadores más influyentes que han reflexionado sobre el impacto cultural de las tecnologías de la información. Las propuestas de McLuhan y Baudrillard constituyen dos posiciones deterministas antagónicas, que de alguna manera resumen las visiones más corrientes sobre el impacto del fenómeno tecnológico en la producción cultural contemporánea.

Para McLuhan la tecnología es una extensión de las capacidades humanas, y la verdadera significación cultural de las tecnologías de información no reside en su contenido sino en la manera en que cambian nuestra percepción del mundo. Por lo tanto, según el autor de *La Galaxia Gutenberg*, las sociedades son modeladas principalmente por la naturaleza de sus medios y no por el contenido de sus expresiones. Al respecto dice McLuhan que “[t]odos los medios nos trabajan completamente. Son tan penetrantes en sus consecuencias personales, políticas, económicas, estéticas, psicológicas, morales, éticas y sociales que no dejan ninguna parte de nosotros intacta, inalterada. El medio es el mensaje.” (McLuhan, 2001, p. 26) El autor plantea la misma idea en otras palabras cuando afirma que “el medio moldea y controla la escala y la forma de la acción y las asociaciones humanas” (McLuhan, 2003, p. 203).

Mientras que para McLuhan el carácter determinante de las tecnologías de información es la clave para la construcción de una visión utópica de la sociedad de la información, Baudrillard asocia las tecnologías de la información con el origen de una sociedad construida en base a simulacros. Según Baudrillard las tecnologías de la información “no incluyen una relación social como vehículos de contenido sino en su forma y operación”, y, debido a su propia forma, los medios incluyen “la abstracción, separación y abolición del intercambio mismo.” Si la comunicación es intercambio, para Baudrillard “los medios son anti-mediadores e intransitivos”, fabrican no-comunicación (Baudrillard, 2003, p. 280). En este sentido para el autor de *Simulacros y simulación*, quien considera que el sistema de poder y control social está basado en este modelo, vivimos en una era de irresponsabilidad, en un mundo donde la interacción social está basada en el consumo de mensajes,

una mecánica que impide toda posibilidad de respuesta y reciprocidad. Las personas ya no se comunican sino que “están definitivamente aisladas en el hecho del discurso sin respuesta.” (Baudrillard, 2003, p. 282)

Aunque los dos autores se refieren concretamente a los medios de comunicación, sus visiones sobre la tecnología como factor de cambio han sido sumamente influyentes en el estudio de las relaciones entre cultura y tecnología. Así, los análisis de McLuhan y Baudrillard sobre las tecnologías de la información como medios que transforman la sociedad, se han extrapolado al análisis del empleo generalizado de las tecnologías de la información como medio de producción que determina las formas de organización en las sociedades industriales contemporáneas.¹²

Para Murphie y Potts, la dificultad que plantean las visiones deterministas del hecho tecnológico es que, como se observa en los argumentos de McLuhan y Baudrillard, se trata de discursos unilaterales donde la tecnología es presentada como un factor desconectado del contexto sociocultural. Respecto a esta constatación, el investigador social Ignacio Siles Gonzales plantea “no caer en la trampa del determinismo tecnológico al atribuir la emergencia de la sociedad de la información *únicamente* a las supuestas capacidades intrínsecas de las tecnologías, cualesquiera que sean, o las formas actuales de almacenar la información y ponerla en movimiento: a su digitalización.” (Siles Gonzales, 2007, p. 87)

En relación con los objetivos de este trabajo, el modelo determinista de análisis resulta claramente insuficiente para estudiar las prácticas contemporáneas de diseño computacional, en la medida que estas prácticas son consideradas como un terreno de exploración definido por la interacción compleja entre tecnologías, referencias a diversos modelos de pensamiento y los problemas disciplinares tradicionales de la arquitectura.

En oposición a las posiciones deterministas, el culturalismo, o materialismo cultural, ha planteado un modelo de análisis alternativo que sitúa la tecnología en un contexto sociocultural. Se trata de una aproximación que propone el intercambio complejo entre los diferentes factores asociados al cambio cultural. A diferencia del determinismo tecnológico, para el materialismo cultural la cultura es un sitio de convergencia donde, de acuerdo con Raymond Williams, se encuentran “la suma de las descripciones disponibles a través de las cuales las sociedades reflejan y dan sentido a sus experiencias comunes.” (Citado en Hall, 1986, p. 35)

¹² De hecho en el campo de la arquitectura computacional es común encontrar referencias al trabajo de los dos autores. Mientras McLuhan representa los ideales de una sociedad utópica de la información, ideales que no son ajenos al trabajo de muchos arquitectos digitales, las ideas de Baudrillard han sido igualmente utilizadas para denunciar ciertos aspectos de las prácticas arquitectónicas contemporáneas. El trabajo de Neal Leach, *La an-estética de la arquitectura*, es el mejor ejemplo de

En correspondencia con esta visión, en *The Technology and the Society*, Williams explica la dificultad que plantea el lugar común de hablar de los efectos de la tecnología en la sociedad. Para Williams el estudio de los efectos puede permanecer superficial si no se tienen en cuenta las nociones de causa y efecto entre tecnología y sociedad, tecnología y cultura y tecnología y psicología (Williams, 2003, p. 291) En el estudio de estas causas y efectos surgen múltiples interrogaciones sobre la diferencia entre una tecnología y su utilización, entre el contenido y la forma de la tecnología. Si se considera la tecnología una causa, se pregunta cómo se controlan sus efectos, si ésta es considerada como un efecto, la pregunta que surge es cómo se relaciona este efecto con otras causas, experiencias y usos.¹³ Según Williams estas preguntas forman parte de las discusiones sociales y culturales y se definen constantemente en la práctica “por decisiones efectivas y reales.” (Williams, 2003, p. 291)

De acuerdo con esta visión, la tecnología aparece como un factor más entre los aspectos que definen la cultura.¹⁴ Stuart Hall explica que el “interaccionismo” de Williams aparece entonces como contestación de la teoría marxista de la base y la superestructura. En la aproximación culturalista el materialismo y determinismo económico es reemplazado por la idea, más activa, de un campo de fuerzas igualmente determinantes donde ningún modo de producción, o ninguna cultura dominante, abarca la práctica, la energía y la intención humana. Por lo tanto, explica Hall, el culturalismo puede definirse sin una referencia conceptual al término de ideología (Hall, 1986).

En este sentido las tecnologías no aparecen como fuerzas determinantes, sino como herramientas que operan y son operadas en un campo social complejo. Lo que importa entonces es la forma en que las tecnologías son utilizadas, más que una propiedad intrínseca a ellas. Así, al negar el carácter

la utilización de las ideas de Baudrillard para denunciar una práctica de la arquitectura limitada a la producción de imágenes y simulacros.

¹³ Para el materialismo cultural “la cultura no se separa de otras prácticas del proceso histórico.” (Hall, 1986, p. 35) Dentro de esta óptica no hay manera de que las manifestaciones culturales sean consideradas aparte y comparadas externamente con otras cosas. “Si el arte es parte de la sociedad, no hay un todo sólido por fuera de éste al que por la forma de nuestras preguntas concedamos prioridad. El arte está ahí, como una actividad, con la producción, el comercio, la política” (Hall, 1986, p. 35). En este sentido “estudiar las relaciones adecuadamente implica estudiarlas activamente, viendo todas las actividades como...formas contemporáneas de energía humana.” (Hall, 1986, p. 35). Por otra parte se hace un énfasis deliberadamente antropológico en el aspecto de la cultura, que se entiende como el conjunto de prácticas sociales, como todo un modo de vida de relaciones activas e insolubles entre elementos (Hall, 1986, p. 36). Hall propone que en este contexto la teoría cultural es definida como el estudio de relaciones entre elementos en un modo de vida. El estudio de la cultura sería un intento por revelar la naturaleza de la organización, es decir el complejo de esas relaciones (Hall, 1986, p. 36).

¹⁴ Los estudios culturales definen la cultura como “los significados y valores que surgen entre diferentes grupos y clases sociales sobre la base de sus condiciones históricas y sus relaciones, a través de las cuales...se responde a las condiciones de existencia” y “como las tradiciones y prácticas a través de las cuales esos acuerdos son expresados y en los que se manifiestan” (Hall, 1986, p. 39).

determinante de la tecnología se va al extremo de considerarla como un factor neutral, como herramienta vacía de contenidos esperando su uso para fines específicos (Murphie & Potts, 2003, p. 22).

La visión de la técnica como un factor neutral también ha sido cuestionada por diferentes autores. Habermas, por ejemplo, mediante el análisis del concepto de neutralidad de la técnica de Freyer y Schelsky,¹⁵ pone en duda esta posición. Para Habermas el desarrollo tecnológico está dirigido a fines e intereses¹⁶ y por lo tanto “el mundo social de la vida”, o sea la cultura, está ampliamente determinado por las aplicaciones técnicas que el desarrollo científico hace posible (Habermas, 2010, pp. 125-126).

Desde luego, la crítica de Habermas nos devuelve al problema del determinismo tecnológico. Desde una posición diferente, la noción de la neutralidad de la técnica también ha sido puesta en duda por Bruno Latour, para quien “ningún proyecto técnico es en su principio técnico” (Latour, 1992, p. 35). Pero para Latour, a diferencia de Habermas, pensar que el desarrollo tecnológico es simplemente un medio para la realización de objetivos, o que la técnica no tiene otro objetivo que ella misma y su propio desarrollo, obligaría a excluir todos los factores sociales, políticos y económicos que influyen en la evolución del mundo de la técnica.

Entonces, volviendo al modelo culturalista, aunque este presenta la ventaja de proponer el intercambio complejo entre los diversos factores asociados al cambio cultural, la minimización del concepto de ideología – que puede llevar a una visión de la tecnología como un aspecto neutral en la producción cultural – también resulta inadecuado para el análisis aquí planteado. Si se piensa que el desarrollo de las tecnologías de la información se encuentra profundamente entrelazado con la emergencia de un nuevo paradigma de pensamiento, cristalizado en la cibernética, estas aparecen

¹⁵ Habermas explica el modelo de Freyer y Schelsky para refutar el planteamiento de la tecnología como neutral: “Frente al estadio primitivo de la evolución técnica, hoy parece invertirse la relación de la organización de los medios para fines dados o para fines en anteproyecto. De un proceso de investigación y de realizaciones técnicas que obedecen a leyes inmanentes, resultan, sin planificación alguna, por así decirlo, los nuevos métodos, para los que sólo después encontramos fines que permiten su utilización. Por medio de un proceso que se ha vuelto automático, esta es la tesis de Freyer, adquirimos en sucesivas oleadas un poder abstracto; poder del que tienen que apoderarse después los intereses sociales y la fantasía creadora de sentido, para hacer uso de él con finalidades concretas. Schelsky agudiza y simplifica esta tesis de que el progreso técnico junto con los métodos no previstos dan lugar ellos mismos a los fines no planificados que permiten su utilización: las posibilidades técnicas imponen a la vez su propio aprovechamiento práctico.” (Habermas, 2010, p.125-126).

¹⁶ Al aceptar el poder de determinación de la tecnología, para Habermas el problema radicaría en cómo pensar la relación entre el progreso técnico y la cultura, y cómo someter esa relación a controles democráticos. Es decir, para Habermas la tecnología constituye una forma de poder, pero es posible y necesario crear marcos de acción política correspondientes (Habermas, 2010, p.125-126).

como un conjunto de técnicas portadoras de valores y contenidos, hay autores que incluso se refieren a la teoría cibernética como ideología, que se reflejan en su forma y sus aplicaciones.

Teniendo en cuenta las limitaciones implícitas tanto en los análisis deterministas como en los análisis culturalistas, la pregunta que surge es cómo analizar el rol de las tecnologías de la información en la producción arquitectónica, sin perder de vista que estas son portadoras de unos contenidos intrínsecos y evitando al mismo tiempo caer en las simplificaciones de los análisis deterministas.

2.2.2 Objetos híbridos

La respuesta puede encontrarse en el trabajo de autores como Donna Haraway, Katherine Hayles y el mismo Bruno Latour, quienes, inspirándose en gran medida en los modelos de causalidad cibernéticos, han presentado modelos de análisis según los cuales los objetos técnicos aparecen simultáneamente como productos culturales y como un factor relevante para la construcción de la cultura. De esta manera lo cultural aparece permeado por lo tecnológico de la misma manera que lo tecnológico se concibe como un aspecto central de la producción cultural. Así se superan las simplificaciones del determinismo, al tiempo que la dificultad de pensar la tecnología como un aspecto neutral cuyo desarrollo aparece desligado de la producción cultural.

En su influyente ensayo *Nous n'avons jamais été modernes*, Latour apunta precisamente a desmontar el mito según el cual que existe una separación entre lo que el autor llama el polo naturaleza y el polo sujeto/sociedad, es decir, entre las ciencias naturales y la cultura en la sociedad moderna. A cambio Latour propone una visión según la cual la ciencia y la cultura convergen y se definen mutuamente. Este proceso es definido por el autor como un "trabajo de mediación", que define un panorama del desarrollo técnico según el cual los objetos científicos circulan en el mundo a la vez como sujetos, objetos y discursos (Latour, 1992, p. 89).

Hayles, de manera similar, concibe la construcción del conocimiento como un modelo de seriación, o sea, como un proceso de retroalimentación permanente entre tecnologías y percepciones, entre artefactos e ideas. Según este modelo los campos conceptuales evolucionan de manera paralela a la cultura material. En consecuencia los artefactos expresan los conceptos que reproducen y, al mismo tiempo, los procesos de construcción de objetos técnicos dan paso a la formulación de nuevos conceptos (Hayles, 1999, p. 15).

Haraway propone formular una teoría que señale las relaciones sociales de ciencia y tecnología, incluyendo los sistemas de mitos y significados que estructuran los imaginarios. En este sentido

Haraway dice que “las tecnologías y los discursos científicos pueden ser entendidos...como momentos congelados de las interacciones sociales fluidas que los constituyen, pero también pueden ser vistos como instrumentos para reforzar significados. El límite es permeable entre herramienta y mito, instrumento y concepto, sistemas históricos de relaciones sociales y anatomías históricas de cuerpos posibles, incluyendo objetos de conocimiento. De hecho, mito y herramienta se constituyen mutuamente el uno al otro.” (Haraway, 2003, p. 524) Para Haraway la reestructuración del mundo a través de las relaciones sociales de la ciencia y la tecnología no constituye un determinismo tecnológico sino que se trata de un “sistema de relaciones estructuradas entre gente”. (Haraway, 2003, p. 525) Se trata desde luego de un sistema mediado por la tecnología, pero se considera que la tecnología no determina sino que hace posibles ciertas formas de organización.

Desde esta perspectiva la comprensión de las herramientas tecnológicas, y de su impacto en la sociedad, debe tener en cuenta los factores que se encuentran en el origen de su desarrollo técnico. De este modo, si se piensa en el desarrollo del pensamiento informacional, este paradigma de pensamiento no aparece simplemente como el resultado de la emergencia de las tecnologías de la información, sino como una construcción cultural en la cual los aspectos técnicos han jugado un papel relevante. De la misma manera, también se entiende que las tecnologías computacionales han sido el resultado de un proceso complejo de construcción de artefactos e ideas, y que los modos de operación propios a su utilización no pueden desprenderse de cierta manera de pensar y actuar en el mundo. Esto mismo se aplica a las exploraciones computacionales del diseño arquitectónico.

2.2.3 Diseñar un mundo tecnológicamente mediado

Lo anterior señala una pista interesante para responder a la pregunta de cómo pensar el rol de las tecnologías informáticas en la arquitectura computacional, sin recurrir a las simplificaciones del determinismo y de la neutralidad de la técnica. La respuesta se encuentra en pensar la arquitectura computacional como un campo que se encuentra inmerso dentro de un paradigma que envuelve aspectos ideológicos y técnicos. Por ejemplo, un aspecto relevante de las producciones de la arquitectura computacional es que estas han constituido en gran medida una reflexión sobre lo que significa el habitar (o diseñar) en un mundo tecnológicamente mediado. Así el trabajo de muchos arquitectos digitales, además de orientarse hacia la definición de nuevas metodologías de diseño tecnológicamente mediadas, han constituido reflexiones sobre el rol de las tecnologías de la información en la profesión y en la sociedad, sobre el carácter del espacio en una sociedad informatizada, sobre la trasgresión de los límites tradicionales entre hombre, naturaleza y tecnología y sobre el estatus acordado en la cultura contemporánea al concepto de información.

En consecuencia se entiende que, aunque la informática ha sido un factor crucial para la definición de nuevas aproximaciones al diseño, la introducción de estas herramientas no es necesariamente la razón última, o única, de la concepción informacional de la arquitectura. Como se verá, la definición de los problemas de la arquitectura como procesos informacionales ha sido en gran medida el resultado de explorar nuevas visiones del diseño informadas por nuevos modelos epistemológicos que se desprenden del pensamiento cibernético.

De este modo la introducción de las herramientas informáticas en el diseño aparece, no como un aspecto determinante en la producción arquitectónica, sino como el medio de producción ideal para explorar ciertas ideas particularmente influyentes en la cultura contemporánea. Sin embargo, lo anterior no niega la condición de la informática como tecnología portadora de una manera particular de entender el mundo y de actuar en él; o como diría Lev Manovich, de una ontología, epistemología y pragmática (Manovich, 2001).

2.2.4 Transcodificación informática

Esta visión de las relaciones entre informática y producción cultural también se encuentra en el análisis propuesto por autores como Lev Manovich y Janet H. Murray del campo de los nuevos medios, un campo que, por definición, incluye entre sus objetos de estudio las producciones de la arquitectura computacional.¹⁷

Para Murray el campo de los nuevos medios se define precisamente por la retroalimentación entre capas científicas y culturales, y adquiere forma en objetos híbridos que son al mismo tiempo innovaciones tecnológicas y prácticas culturales. De acuerdo con Murray, en este campo lo cultural y lo tecnológico aparecen tan estrechamente ligados que no podemos retroceder en nuestro esfuerzo cognitivo comprometido con la tecnología, “puesto que los medios digitales son tanto patrones de percepción y de pensamiento como el patrón para hacer cosas.” (Murray, 2003, p. 11)

De acuerdo con la propuesta de Murray, la producción digital de objetos culturales no se relaciona únicamente con los modos numéricos de operación, sino, de manera más amplia, con una ontología y una epistemología informacional. En este sentido, el empleo de la informática en la arquitectura conllevaría insertar la profesión dentro de un marco, como el propuesto por Hayles, de construcción conjunta de significados culturales y productos técnicos.

El principio de “transcodificación cultural” de los nuevos medios propuesto por Manovich apunta en el mismo sentido. Este concepto, mediante el cual el autor explica la condición de las prácticas de los nuevos medios como manifestaciones culturales y técnicas, abre perspectivas interesantes para analizar las relaciones entre los contenidos propios de la informática, las herramientas de concepción y los nuevos imaginarios que se desarrollan en el campo del diseño computacional.

Transcodificar, dice Manovich, es traducir algo en otro formato. Para el autor, la computarización de la cultura implica una transcodificación de las categorías culturales; esto equivale a decir que estas son reemplazadas “al nivel del significado y/o del lenguaje” por otras que se derivan de “la ontología, epistemología y pragmática del computador.” (Manovich, 2001, p. 47).

No obstante, lo anterior no constituye una visión determinista, en la medida que se considera que las capas culturales también influyen las capas tecnológicas. De hecho, el concepto de transcodificación utilizado por Manovich es bastante cercano de las propuestas de Latour, Haraway y Hayles para explicar el intercambio entre lo cultural y lo tecnológico. Para Manovich las dos capas se componen juntas, de modo que el resultado “es una nueva cultura informática – una mezcla de significados humanos e informáticos, de formas tradicionales por medio de las cuales la cultura humana modela el mundo y los modos propios del computador de representarlo” (Manovich, 2001, p. 46).

Trasladada al problema de investigación aquí planteado, esta idea sugiere que para comprender las producciones digitales de la arquitectura, es necesario entender en qué medida la ontología y la epistemología propias de la computación aparecen en el centro de sus construcciones.

Teniendo en cuenta el estrecho vínculo entre el pensamiento cibernético y el origen de la informática, la comprensión de las ideas promovidas por este modelo de pensamiento debería ayudar a comprender de qué manera las elaboraciones de la arquitectura computacional se relacionan no solamente con la pragmática computacional, sino con la visión del mundo, y los modos de actuar en él, que subyacen al desarrollo de las ciencias de la computación.

¹⁷ Siguiendo la definición propuesta por Lev Manovich, en la historia visual contemporánea se identifican como nuevos medios las prácticas que emplean la informática como medio de producción, distribución y exhibición (Manovich, 2001, p. 18).

2.3 Teoría cibernética

A continuación se propone una breve introducción a las ideas centrales del pensamiento cibernético. Se hará referencia principalmente a las obras de divulgación escritas por Norbert Wiener y a algunos aspectos de su colaboración con Julian Bigelow y Arturo Rosenblueth. Estos textos, escogidos entre una amplia bibliografía, resumen bastante bien las intenciones, orígenes y principales supuestos que dieron forma a esta disciplina.

El pensamiento cibernético surgió prominentemente en Estados Unidos en los años posteriores a la segunda guerra mundial. Este paradigma científico, que se consolidó alrededor de la premisa que todos los fenómenos en el mundo podían explicarse como procesos de intercambio y de circulación de información, se construyó en base a la teoría de la información de Claude Shannon, el modelo del funcionamiento neuronal como un sistema de procesamiento de información de Warren McCulloch, el trabajo de John von Neuman sobre máquinas procesadoras de códigos binarios, y la articulación propuesta por uno de sus principales teóricos, Norbert Wiener, de todas estas nociones y desarrollos tecnológicos en una teoría de pretensiones universales (Hayles, 1999, p. 7).

Conceptualizada en los años cuarenta, la cibernética se convirtió en un referente ineludible en diversas áreas del conocimiento desde la segunda mitad del siglo XX. En la actualidad no cabe duda que su influencia ha sido crucial para el desarrollo de algunos de los modelos más influyentes en el pensamiento occidental contemporáneo. De cierta manera, la expansión del pensamiento cibernético aparece como cumplimiento de la aspiración de Wiener – expuesta en obras de divulgación clave como *Cibernética y Sociedad* o *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas* – de ver el estudio de la comunicación consolidarse como una ciencia transversal, que eventualmente permitiría superar los límites establecidos entre diferentes disciplinas.

De hecho, en la introducción de *Cibernética* Wiener explica su temprana convicción, compartida con el fisiólogo mexicano Arturo Rosenblueth, que los campos de estudio desatendidos entre las distintas especialidades constituían los terrenos más valiosos para el desarrollo de la ciencia.¹⁸ Este interés por la interdisciplinariedad también aparece claramente expuesto en el artículo *Behavior, Purpose and*

¹⁸ Wiener señala que “[e]l Dr. Rosenblueth insistía siempre en que la correcta exploración de esas zonas vírgenes del mapa científico sólo podría llevarla a cabo un equipo de científicos, especialista cada uno de ellos en su propio campo, pero con conocimientos profundos y experiencia práctica en las especialidades de sus colegas, además de ser individuos habituados al trabajo en equipo y conocedores de las costumbres intelectuales de sus colegas al punto de ser capaces de reconocer la importancia de una sugerencia, aun antes de que esta haya sido formulada formalmente.” (Wiener, 1998, p. 25)

Teleology, que algunos comentaristas consideran como el texto inaugural del pensamiento cibernético.

En este artículo Wiener y Rosenblueth, en colaboración con Julian Bigelow, proponen un método conductista para definir el estudio de los eventos naturales y clasificar su comportamiento. Al limitar el estudio del comportamiento al análisis de los eventos externos que lo modifican (*inputs*), y de los cambios observados en el objeto de estudio a causa de esos eventos (*outputs*), el estudio concluye que “un análisis conductista uniforme es aplicable tanto a las máquinas como a los organismos vivientes, independientemente de la complejidad del comportamiento.” (Rosenblueth, et al., 1943, p. 22) De esta manera las diferencias entre los organismos y las máquinas se desvanecían, y con ellas los límites entre las ciencias de la vida y la ingeniería, al demostrar que tanto los organismos como las máquinas podían clasificarse bajo las mismas categorías (Bowker, 1993).

Más importante aún, mediante este modelo de análisis los seres humanos, los seres vivientes en general y los servomecanismos, fueron caracterizados como sistemas de retroalimentación, como sistemas cuyo funcionamiento depende de una mecánica comunicacional. Crucialmente, Wiener explica que en su teoría los problemas de control y de comunicación eran considerados inseparables y se centraban en torno al mensaje, “ya fuera transmitido por medios eléctricos, mecánicos o nerviosos.” (Wiener, 1998, p. 31).

De esta manera la comunicación fue conceptualizada como el aspecto fundamental de una serie de fenómenos de interés para la ciencia, al tiempo que la teoría cibernética se presentó como el modelo científico que proveía las herramientas para su estudio. En una de las definiciones propuestas de su teoría, Wiener describe la cibernética como “el estudio del lenguaje, el estudio de los mensajes en tanto que medios de control sobre las máquinas y la sociedad, el desarrollo de máquinas de cálculo y otros aparatos automatizados análogos”, y sus problemas de investigación como consideraciones sobre “la psicología y el sistema nervioso y una nueva teoría experimental del método científico.” (Wiener, 1962, p. 15)

La anterior definición deja claro que Wiener consideraba la teoría cibernética como una suerte de teoría científica general, que aspiraba a influir en esferas mucho más amplias que el problema concreto de la aplicación tecnológica de las teorías de la comunicación.¹⁹ En el desarrollo de una

¹⁹ Esta aspiración aparece claramente en el objetivo planteado por Wiener, para quien la cibernética debía contribuir al desarrollo de un lenguaje científico universal y redefinir la labor del científico en la sociedad. El alcance de esta nueva ciencia se planteaba de tal modo que Wiener incluso especuló sobre las posibles influencias de la teoría cibernética en diversos aspectos de la vida social. En muchos de sus escritos Wiener aborda temas que, además de consideraciones técnicas y teóricas, incluyen perspectivas filosóficas, políticas, sociológicas e incluso religiosas en las que la cibernética estaba llamada a jugar un rol esencial (Wiener, 1962, p.11).

teoría que proponía que la transmisión de mensajes era el factor común a todos los fenómenos observables, el estudio de la comunicación se asumía no como “un saber más, sino como el elemento común de todas las disciplinas.” (Siles Gonzales, 2007, p. 87)

Estas consideraciones se construyeron alrededor de tres nociones clave que definen en gran medida el programa cibernético: entropía, información y retroalimentación.

2.3.1 Entropía, información y retroalimentación

Gran conocedor del trabajo del físico W. Gibbs, a quien Wiener atribuye la primera revolución de la física del siglo XX, el autor de *Cibernética* da particular importancia en su teoría al concepto de entropía. Este es el primero de los tres conceptos mencionados que Wiener introduce en *Cibernética y Sociedad*.

Refiriéndose al estudio de los sistemas dinámicos, Wiener explica que lo que se puede establecer de estos no es lo que se podría predecir si fuera posible conocer sus momentos iniciales con precisión exacta (que es casi siempre imposible), sino lo que se puede predecir cuando los momentos iniciales se conocen con una precisión dada, o sea, cuando no se conocen las condiciones iniciales, pero se tiene una idea de su repartición (Wiener, 1962, p. 7) Para Wiener la gran contribución de Gibbs a la ciencia fue haber puesto en marcha un método probabilístico que permitía estudiar el carácter contingente de algunos fenómenos naturales. Gibbs elaboró una teoría según la cual en la medida que el universo envejece, este tiende a su estado más probable, uno de máxima desorganización.

Wiener afirma que “la medida de esa probabilidad es la entropía, cuya tendencia característica es crecer.” (Wiener, 1962, p. 12) Esto equivale a decir que en la medida que el universo envejece, este pasa de un estado de organización y diferenciación a un estado de caos uniforme. Esta visión refleja uno de los principios más importantes de la física, la segunda ley de la termodinámica, que establece que la entropía de un sistema cerrado nunca decrece, porque los sistemas cerrados evolucionan espontáneamente hacia un equilibrio termodinámico, o sea, hacia un estado de máxima entropía.

En un universo que tiende al caos existen, sin embargo, enclaves donde se observa una tendencia “limitada y temporal al crecimiento de la organización. La vida se encuentra en uno de esos enclaves.” (Wiener, 1962, p. 12). En el pensamiento de Wiener los organismos, y por extensión las máquinas capaces de comunicarse, son sistemas de entropía decreciente. Puesto que desde la

perspectiva cibernética el secreto de la organización, tanto de los organismos como de la sociedad, son los sistemas de comunicación, la cibernética se construyó como la ciencia del control y regulación de estos sistemas; lo cual equivale a decir que la cibernética era concebida por Wiener como una herramienta de lucha contra la tendencia de la naturaleza hacia la entropía.

Aquí aparece el rol del concepto de información. En esta lucha la información, también definida como entropía negativa, aparecía como el factor clave. Según la teoría cibernética “en nuestro mundo la entropía no aumenta mientras que la organización y su corolario, la información, se desarrollan” (Wiener, 1962, p. 37)

En el pensamiento de Wiener el concepto de información aparece íntimamente relacionado con el concepto central de comunicación., Antes ya se ha señalado que la teoría cibernética se organizó alrededor de la premisa “según la cual la verdadera naturaleza de todo ser observable se encuentra, esencialmente, en sus relaciones de comunicación”; según Breton y Proulx, por “relaciones de comunicación” se entiende el “intercambio y circulación de informaciones que todo ser sostiene con otras entidades de su entorno.” (Citado en Siles Gonzales, 2007, p.88)

Este intercambio permanente es descrito en términos de un propósito definido: recibir y utilizar información del medio ambiente es un proceso cuya finalidad es la adaptación de los seres a su contexto para vivir de manera eficaz con este: “[v]ivir eficazmente es vivir con la información adecuada.” (Wiener, 1962, p. 19) Lo anterior es indisociable de la cuestión de la regulación de la comunicación en la teoría cibernética, tema que se desarrolla esencialmente alrededor del concepto retroalimentación.

Puesto que en la teoría cibernética el intercambio de mensajes constituye un modelo de organización, la información proporcionada por una serie de mensajes es considerada como la medida de la organización de un sistema. Así, en cualquier sistema capaz de intercambiar información con su entorno,²⁰ la información intercambiada aparece como el elemento regulador que permite mantener al sistema en equilibrio, a pesar de la tendencia natural del mundo hacia la desorganización (Wiener, 1962, p. 32).

²⁰ De acuerdo a la segunda ley de la termodinámica en todo sistema cerrado la entropía aumenta. Los organismos y máquinas cibernéticas, en tanto que sistemas que intercambian mensajes con su medio ambiente, no se consideran sistemas cerrados: estos toman energía del exterior y actúan de acuerdo a la información que reciben a través de sus sentidos (Wiener, 1962, p. 28). Este es el problema central del trabajo de influyentes científicos como Ludwig Von Bertalanffy e Ilya Prigogine, cuyas ideas constituyeron una extensión de los planteamientos de la cibernética.

El proceso mediante el cual un sistema modifica su comportamiento en función de la información que recibe de su contexto, es lo que en la teoría cibernética se llama retroalimentación, término heredado de la ingeniería de control, que se refiere a los mecanismos de adaptación y aprendizaje fundamentales para el programa cibernético.

Este es uno de los temas centrales expuestos en *Behavior, Purpose and Teleology*, donde se define la retroalimentación como el proceso mediante el cual los mensajes de salida de un proceso (*output*) son reutilizados como mensajes de entrada (*inputs*). Según el método establecido por Wiener y sus colegas, los sistemas de retroalimentación son un aspecto común entre los organismos y las máquinas de comunicación.

En *Cibernética y Sociedad* Wiener explica este punto así: “[l]a tesis es que el funcionamiento físico del individuo y las operaciones de cientos de máquinas de comunicación son exactamente paralelas en su esfuerzo por controlar la entropía por medio de la retroalimentación.” (Wiener, 1962, p. 31) Para Wiener lo que define las capacidades de adaptación y aprendizaje en los animales y las máquinas son los mecanismos que permiten a éstos “recoger información que viene del mundo exterior y convertirla en información válida en el funcionamiento del sistema.” (Wiener, 1962, p. 32)

Céline Lafontaine señala que este es el aspecto fundamental de la representación cibernética de la comunicación, a saber, su concepción como un fenómeno circular y sin fin (Lafontaine, 2004, p. 46). A esta idea corresponde la visión del mundo que se desprende del modelo cibernético, que desde entonces ha sido concebido como un sistema regido por una lógica de causalidad recíproca, como un meta-sistema en el que todos sus componentes se encuentran inmersos en un proceso de interacción permanente. Este ha sido sin duda uno de los aportes más significativos de la teoría cibernética al pensamiento contemporáneo.

El historiador de la ciencia Peter Gallison expone claramente lo anterior. Gallison afirma que a partir del momento en que Wiener comenzó a pensar en los pilotos de los aviones de guerra enemigos “como una especie de máquina de retroalimentación que podía ser imitada electrónicamente”, sólo faltaba “un pequeño paso para pensar en los artilleros aliados del mismo modo. A continuación la fisiología humana empezó a aparecer como un sistema cibernético, a continuación la mente humana, a continuación la vida, a continuación incluso el mundo en su totalidad.” (Gallison, 2003, p. 223)

En efecto, en el mundo de la ciencia han proliferado diferentes visiones de los fenómenos físicos, sociales, naturales y artificiales que, bajo el influjo del pensamiento cibernético, han transformado los problemas de investigación en diversos campos del conocimiento. Esta migración de conceptos desde la cibernética hacia otros campos ha sido un aspecto esencial para el desarrollo y evolución de

un campo como la arquitectura computacional. Por lo tanto, comprender como ha operado la propagación de las ideas cibernéticas hacia otras disciplinas, es decisivo para entender el punto que la disertación trata de demostrar, a saber, de qué modo las narrativas puestas en circulación por los cibernéticos se han encontrado en el centro de muchas de las producciones digitales de la arquitectura.

2.4 La expansión del modelo cibernético

Puesto que el interés de esta disertación es comprender el influjo del pensamiento cibernético en la arquitectura computacional, y teniendo en cuenta que en este campo han jugado un rol importante diversos modelos de pensamiento herederos de los discursos de la información, es fundamental comprender como ha operado la transferencia de las ideas cibernéticas hacia otras disciplinas.

Philippe Breton afirma que el conocimiento de los orígenes y antecedentes del desarrollo de las tecnologías de la información debería ayudar a entender el sistema de valores y conceptos que estas tecnologías encarnan. Por lo tanto, antes de dar una mirada al trabajo de diferentes autores que han estudiado cómo ha operado la propagación de las ideas cibernéticas, es esencial comprender el rol de la cibernética en la emergencia de la ciencia de la computación.

2.4.1 La cibernética y la informática

En los primeros años de su desarrollo la informática estuvo tan estrechamente ligada a la formulación de la teoría cibernética, que es posible afirmar que en sus inicios estos dos campos compartieron los mismos problemas. La cibernética fue una disciplina primaria para la informática, tanto como el desarrollo de ésta última lo fue para la cibernética. Por esta razón, los imaginarios cibernéticos han permeado, a lo largo de los años, los problemas de la informática.

En su historia de la informática, Breton sugiere que el primer periodo de desarrollo de la informática, que corresponde al momento de la puesta en marcha de los principios fundamentales y de las grandes innovaciones, estuvo íntimamente ligado a la formulación de las ideas cibernéticas. Aunque desde entonces la informática ha evolucionado notablemente y se ha consolidado como un campo de investigación independiente, el autor de *Une histoire de l'informatique* considera que desde su nacimiento la ciencia de la computación se basó en una serie de principios compartidos con la cibernética (Breton, 1990, p. 141); principios que han permanecido tanto en el plano del imaginario y del sistema de valores que subyacen a la disciplina, como en el plano de las técnicas empleadas.

Esta tesis es confirmada por varios historiadores y sociólogos de la ciencia, que han planteado que las nociones que dieron forma a la cultura técnica y científica contemporánea se desarrollaron en la década del cuarenta del siglo pasado, en Inglaterra y fundamentalmente en Estados Unidos, en un contexto fuertemente marcado por la guerra (Gallison, 2003, Heims, 1986, Kay, 2000, Edwards, 1997).

Dentro de este contexto, los principales temas alrededor de los cuales se consolidaron la informática y la cibernética (información, comunicación, comportamiento, complejidad, retroalimentación, control, regulación, recursividad, lógica, programación) fueron objeto de intenso debate entre una comunidad de investigadores provenientes de diferentes áreas como las matemáticas, la ingeniería eléctrica, la lógica, la psiquiatría y la neurofisiología. En el centro del debate se situaban dos problemas de investigación concretos: la construcción de máquinas de cálculo y el estudio del comportamiento humano inteligente (Breton, 1990, p. 142).

Según Breton, durante el periodo comprendido entre 1940 y 1950 las relaciones entre la cibernética y la naciente ciencia de la informática fueron tan estrechas, que con frecuencia se atribuye a la cibernética el origen de la computación. Esto debido a que figuras como Turing, von Neumann, Eckert y Wilkes aparecen con frecuencia en los mismos escenarios que los principales científicos vinculados al desarrollo del pensamiento cibernético: Shannon, Wiener, McCulloch y Pitts, entre otros. Aunque los primeros se preocuparon más por el desarrollo de una ciencia de computadores que por el enfoque multidisciplinar de la cibernética, los intercambios entre unos y otros fueron intensos y durante el periodo inicial de desarrollo de la cibernética y la informática era común encontrar reunidos en coloquios y conferencias a los principales investigadores involucrados en los dos campos (Breton, 1990, pp. 151-152).

Esto explica que las nociones fundamentales que dieron origen a la teoría cibernética sean las mismas que confluyeron en el desarrollo de las tecnologías de la información; así, muchos aspectos centrales del pensamiento cibernético hacen parte del imaginario vigente de la informática. Estos incluyen la comparación entre el cerebro y el computador, la reificación de la información, la visión de un futuro transformado por las tecnologías de información, o la idea según la cual la lógica es un valor universal y una herramienta para comprender el mundo y transformarlo (Breton, 1990, p. 157).

Desde luego estos imaginarios no tuvieron impacto únicamente en el desarrollo informática. Bajo el influjo cibernético, en diferentes áreas del conocimiento, han proliferado diversas visiones de los fenómenos en el mundo como sistemas interconectados, como procesos comunicacionales, como mecanismos homeostáticos, etcétera. Alrededor de estas ideas se han construido algunos de los modelos más influyentes en el pensamiento occidental contemporáneo, entre ellos algunos que han ejercido notable influencia en las formulaciones de la arquitectura desde mediados del siglo XX.

La expansión del paradigma cibernético ha sido estudiada por varios autores desde perspectivas diferentes. Aquí se propone examinar unos cuantos de estos trabajos, que dan una idea de cómo, y por qué, las ideas de la cibernética se propagaron y se convirtieron en un referente común en diferentes campos.

Philippe Breton ha explorado de qué manera los discursos de la comunicación se convirtieron en la ideología dominante y el factor decisivo en la constitución de lo que hoy se define como sociedad de la información. Geof Bowker ha analizado las herramientas retóricas y prácticas empleadas por los cibernéticos para dar legitimidad a su modelo de pensamiento. Jean François Lyotard ha examinado la importante incidencia de la referencia al lenguaje en la ciencia y la tecnología, y de qué modo tanto las tecnologías informáticas como la noción de información han transformado los campos del saber. Céline Lafontaine, en un trabajo más reciente, ha estudiado la influencia de la teoría cibernética en el conjunto de las ciencias sociales contemporáneas.

2.4.2 La utopía de la comunicación

En *L'utopie de la Communication* Philippe Breton estudia el enorme impacto de las ideas cibernéticas en la cultura contemporánea y la expansión de sus ideas hacia diversos campos del conocimiento. Desde la lectura propuesta por el autor, la teoría cibernética se presenta no sólo como un modelo científico, sino como una visión utópica de la sociedad basada en la idea central de comunicación, cuyos postulados han tenido importantes repercusiones tanto en los campos de la ciencia y la tecnología, como en el plano cultural, social y político.

Breton considera que la premisa fundamental, y a la vez la idea más influyente de la cibernética, es la noción según la cual todos los fenómenos del mundo visible pueden ser comprendidos en términos de relaciones, de intercambio y de circulación de información. Gracias a esta idea de base, la comunicación se habría convertido en un valor de gran alcance político y social. Breton recuerda que el proyecto de Wiener, que aspiraba a promover una nueva definición antropológica del hombre y a situar la comunicación como valor fundamental en la sociedad, implicaba tres grandes imperativos. Primero, el reconocimiento del hombre como ser comunicante, segundo, que las máquinas recibieran un nuevo estatus en la sociedad y, finalmente, que gracias al carácter abierto de las vías de comunicación la sociedad se convirtiera en un sistema auto-regulado (Breton, 1995).

Consecuentemente, argumenta Breton, junto al nuevo valor que adquirió la idea de comunicación, las tecnologías de la información comenzaron a ser consideradas como la herramienta que haría posible la emergencia de una sociedad de la comunicación. Para el autor de *L'utopie de la*

communication, ha sido a partir de la visión utópica de la sociedad de la comunicación, promovida por el propio Wiener, que se han construido los discursos sobre la revolución informática y la sociedad de la información.²¹

Habiéndose convertido en valor dominante, la visión informacional del mundo promovida por la cibernética, se habría convertido en el paradigma alrededor del cual diversas disciplinas redefinieron sus problemas de investigación. En consecuencia, según Breton, el desarrollo de diferentes modelos científicos informados por los discursos de la información fue al mismo tiempo la consecuencia de la difusión de las ideas cibernéticas, y su principal medio de propagación.

En su análisis de las estrategias retóricas empleadas por los cibernéticos para legitimar su modelo, Geof Bowker llega a una conclusión similar a la propuesta por Breton; a saber, que la cibernética se constituyó como la disciplina primaria a partir de la cual se definió el programa de investigación de otros campos disciplinares, y que esta transferencia de conceptos constituyó a su vez el principal medio de expansión del pensamiento cibernético.

2.4.3 Un modelo universal

En el artículo *How to be Universal: Some Cybernetic Strategies 1943-1970*, Bowker discute tres aspectos fundamentales para explicar este fenómeno: en primer lugar, el autor plantea que la reivindicación de universalidad de la cibernética se basó en una nueva lectura de la historia humana; en segundo lugar, qué esta nueva lectura fue potenciada por el desarrollo de un nuevo lenguaje y, finalmente, qué este lenguaje fue utilizado para sugerir la validez de una nueva división del trabajo dentro de las ciencias (Bowker, 1993, p. 108).

²¹Anunciada primero como revolución postindustrial, después como revolución informática y más recientemente en términos de las posibilidades abiertas por las autopistas de información, la comunicación como valor continúa teniendo un gran impacto tanto en la ciencia como en la cultura contemporánea. En este sentido, el investigador Emanuel Eveno recuerda que el tema de la comunicación está presente en numerosos espacios de discusión, “en innombrables discursos políticos, en la justificación de políticas públicas ambiciosas y tiende a imponerse como la ideología de los tiempos modernos, de la modernidad y de la postmodernidad. Ésta substituye las grandes ideologías políticas como el comunismo o el liberalismo.” (Eveno, 1998, p. 305) Eveno, quien propone una lectura similar a la de Breton del rol de la noción de comunicación y de su influencia desde la posguerra hasta la actualidad, sugiere una hipótesis interesante que puede relacionarse con lo propuesto por otros autores como Jean François Lyotard y Geof Bowker. Para el autor, el enorme alcance de las nociones de comunicación e información se debe a que las tecnologías de información (sus más directas herederas) se han considerado como intrínsecamente portadoras de un orden social y político que se impone, sino naturalmente, al menos lógicamente (Eveno, 1998, p. 305).

Para Bowker, en el artículo inaugural, *Behavior, Purpose and Teleology*, ya aparece de manera evidente una particularidad del pensamiento de Wiener. Se trata de su capacidad para referirse a problemas muy concretos y, a partir de los mismos principios, referirse a cuestiones generales y sumamente abstractas. La estrategia empleada era “producir una taxonomía de diferentes tipos de comportamiento...Después se demostraba que los animales y las máquinas podían encontrarse en los dos lados de cada división.” (Bowker, 1993, p. 110).) Bowker sostiene que al definir las máquinas como sistemas análogos a los seres vivos, gracias a su carácter comunicacional, la cibernética podía reclamar el nacimiento de una nueva ciencia exclusiva de su momento histórico y anunciar la llegada de una nueva era, la era “de la forma y la estructura sincrónica de la información.” (Bowker, 1993, p. 111).

Bajo el lema de la llegada de una nueva era, los cibernéticos también se apropiaron de discursos ajenos a la ciencia. Un ejemplo de lo anterior es como una serie de problemas que habían estado limitados al ámbito religioso pasaron a formar parte del programa cibernético. En *God and Goldem inc*, por ejemplo, Wiener examina una serie de situaciones “que han sido discutidas en libros religiosos y tienen un aspecto religioso pero que plantean una cercana analogía con otras situaciones que pertenecen a la ciencia, y en particular a la nueva ciencia de la cibernética” (Citado en Bowker, 1993, p.113). De manera similar, en el plano político Wiener se encargó igualmente de denunciar los peligros del avance tecnológico, entre ellos la automatización irresponsable y la amenaza nuclear, y de postular a la cibernética como la ciencia capaz de prevenirlos (Bowker, 1993, p. 113).

Es decir, los cibernéticos argumentaron la llegada de una nueva era desde una perspectiva doble: coyunturalmente, en lo concerniente al desarrollo tecnológico, e idealmente, al proponer grandes ideas sobre la humanidad.

El segundo aspecto analizado por Bowker, el desarrollo de un nuevo lenguaje capaz de reflejar sus principales preocupaciones, aparece ligado a la redefinición de los límites ontológicos tradicionales que se desprendían de sus postulados.²² Tal desafío de los modelos de pensamiento en vigor debía ser replanteado de alguna manera. Para Bowker el lenguaje de la cibernética, es decir, el discurso de la información, del control, de los mecanismos de retroalimentación, de la entropía, etc., cumplía esa función (Bowker, 1993, p. 114).

²² Dos ejemplos claros son la puesta en duda de la distinción entre los organismos y las máquinas (cuando se propone que el comportamiento dirigido a fines es una función de los procesos de retroalimentación, y por lo tanto no se limita a seres con intenciones), y la redefinición de la subjetividad humana que resulta de situar al hombre en un circuito comunicacional; “el antiguo dualismo entre mente y cuerpo se rompía históricamente y filosóficamente, los aspectos de la mente podían...encontrarse distribuidos...por doquier en la naturaleza” (Bowker, 1993, p.114).

Este nuevo lenguaje habría sido lo que garantizó un intercambio de ideas entre diferentes disciplinas. Definido como un “efecto de triangulación”, este sistema de intercambio permitía que un trabajo científico que exhibía un argumento extravagante pudiera ganar legitimidad al soportarse en otro campo, mecanismo que a su vez daba legitimidad al otro campo para argumentar sus tesis. De esta manera los conceptos y herramientas de un campo podían ser extraídos para ser introducidos en otro, mientras el lenguaje de la cibernética hacía “el trabajo de suavizar la discontinuidad.” (Bowker, 1993, p. 116)

El desarrollo de este lenguaje ofrecía nuevas formas de interacción cognitiva entre diversas disciplinas. Por ejemplo, de esta manera las ideas biológicas podían ser introducidas en la física y viceversa. A partir de este mecanismo, el lenguaje de la cibernética se usó para definir los fenómenos estudiados en prácticamente todos los campos del conocimiento, con lo cual quedaba garantizado el éxito del objetivo cibernético de reorganizar la producción científica.

Bowker concluye que gracias a lo anterior, la cibernética pudo “operar...como disciplina primaria, dirigiendo a las otras en su búsqueda de la verdad, o como una disciplina que proveía las herramientas analíticas indispensables para el desarrollo y progreso de las demás. Tanto al nivel superestructural como al nivel infraestructural, la retórica sostenía que la cibernética era ineludible si uno quería hacer ciencia significativa y eficiente.” (Bowker, 1993, p. 122)

2.4.4 La informatización del saber

Desde una perspectiva diferente, Jean François Lyotard presenta en *La condición postmoderna* un análisis según el cual el cambio de estatus del saber, su informatización, se explica como el resultado de un profundo cambio epistemológico; cambio que es concebido como el producto de la emergencia de las tecnologías de la información, pero también de los nuevos modelos de pensamiento resultantes de los discursos de la información.

Lyotard pone un énfasis particular en el hecho que el saber ha cambiado como resultado de la implementación de las tecnologías de la información. El autor plantea que “[c]on la hegemonía de la informática se ha impuesto una cierta lógica, y por lo tanto, todo un conjunto de prescripciones que afectan todos los enunciados que pueden ser aceptados como saber.” (Lyotard, 2005, p.26) De este modo, agrega Lyotard, desde su informatización el conocimiento no puede “entrar en nuestros canales y volverse operativo si antes no ha quedado traducido en cantidades de información.” (Lyotard, 2005, p. 26) Para Lyotard la nueva condición del saber es su expresión en términos informacionales; lo cual implica que tanto los productores de saber como sus usuarios deben ser

capaces de comprender o tener los medios para traducir códigos. En otras palabras, Lyotard plantea que tras su informatización, la producción de conocimiento ha quedado sujeta “a la condición de traducibilidad de resultados en un lenguaje-maquina.” (Lyotard, 2005, p. 26).

Aunque se plantea que la expansión de la informática es el factor crucial que transforma el saber, en el discurso de Lyotard estos cambios no pueden separarse de la emergencia de un nuevo modelo de pensamiento. Así, el autor recuerda que a partir de los años cuarenta del siglo XX, prácticamente todas las ciencias y técnicas que se consideraban de vanguardia se apoyaron en el lenguaje, en la noción de información desarrollada por científicos como Shannon y Weaver, por ejemplo (Lyotard, 2005, pp. 25-26). Entonces el cambio en el estatus del conocimiento del que habla Lyotard no pasa solamente por la traducción del conocimiento en lenguajes computacionales, sino por la redefinición de sus explicaciones en función de las ideas que se desprenden de los discursos de la información.

Lyotard señala la teoría de la comunicación de Shannon, y no propiamente la cibernética, como la disciplina que dirigió los cambios epistemológicos descritos en *La condición posmoderna*. Para Lyotard la cibernética es un ejemplo, entre otros, de la informatización del saber. Sin embargo, el autor reconoce la enorme influencia de la cibernética en la definición de nuevos modelos de pensamiento particularmente influyentes; especialmente en lo que concierne a la concepción de la sociedad como un todo funcional que se desprende de la teoría de sistemas.

De hecho es interesante observar que la concepción de la sociedad que se deriva del pensamiento sistémico es fundamental para la reflexión propuesta por Lyotard. Por lo tanto su trabajo mismo resulta siendo un ejemplo de la transferencia del modelo informacional hacia las ciencias sociales.²³ En este punto cabe recordar que para varios autores el paradigma cibernético inaugura precisamente lo que Lyotard ha llamado sociedad postmoderna. Philippe Breton argumenta en el prefacio del libro de Céline Lafontaine, *L'empire cybernétique*, que varios autores (Ellul, Habermas, Lefebvre, Roszak, Sfez) han tenido la intuición que toda crítica de la modernidad pasaba por “el reconocimiento del rol fundador jugado por la cibernética”. En este sentido, para Breton, el concepto de postmodernidad “no es otra cosa, como puede verse en Jean-François Lyotard, que el paradigma cibernético renombrado al gusto de la época.” (Lafontaine, 2004, p. 7)

Entonces, a pesar de las diferencias de enfoque respecto a los trabajos de Bowker (quien atribuye directamente a la cibernética la posición de disciplina primaria para el desarrollo de la ciencia contemporánea) y de Breton (quien considera la visión cibernética de la sociedad de la comunicación

²³ Lo mismo puede afirmarse de su teoría de los juegos de lenguaje, teoría que se apoya en una noción que las ciencias sociales heredaron de la cibernética: la cuestión del vínculo social como un problema comunicacional.

cómo ideología dominante en el mundo contemporáneo), el trabajo de Lyotard refuerza algunos de los puntos señalados por los dos anteriores.

Aunque Lyotard atribuye una gran importancia al desarrollo de las tecnologías de la información para la informatización del saber y de la sociedad, su análisis es enfático al señalar que este proceso ha tenido lugar en referencia a un cambio de paradigma en el campo del conocimiento que se desprende de los discursos de la información, marco dentro del cual se su trabajo mismo se inscribe.

Céline Lafontaine presenta una mirada a cómo este cambio de paradigma ha sido una influencia mayor, tanto en el conjunto de las ciencias sociales contemporáneas, como en otros campos del conocimiento científico.

2.4.5 El imperio cibernético

Para la autora de *L'empire cybernétique*, la cibernética inauguró un nuevo paradigma de conocimiento que definió las bases para repensar al ser humano y su lugar en el mundo (Lafontaine, 2004, p. 16). Este nuevo modelo, que excluye la separación humano-máquina, y que por consiguiente pone en duda la interioridad subjetiva como propiedad única del ser humano, habría implicado una redefinición de las concepciones humanistas heredadas de la modernidad, fuertemente basadas en la idea del sujeto liberal (Lafontaine, 2004, p. 17). Según Lafontaine, el nuevo paradigma promovió nuevas representaciones en las que una visión tecno-científica del mundo se oponía al modelo político-institucional moderno (Lafontaine, 2004, p. 18).

Mediante la exploración de estas ideas, y por medio de un análisis sintético de las ideas vehiculadas por diversas teorías filosóficas y modelos científicos contemporáneos, Lafontaine señala el impacto de los cambios ontológicos y epistemológicos propios del paradigma informacional en algunos de los modelos más influyentes en el pensamiento occidental, desde el final de la segunda guerra mundial hasta la actualidad.

De esta manera la autora analiza el impacto de la cibernética en campos como el estructuralismo, el pensamiento sistémico y las corrientes de pensamiento posmodernas. Así, Lafontaine considera la influencia de los discursos de la información en el trabajo de pensadores y filósofos tan importantes para el pensamiento contemporáneo como Claude Levi Strauss, Gregory Bateson, Jacques Lacan, Jacques Derrida, Gilles Deleuze y Felix Guattari, entre otros.

Desde la misma perspectiva, el análisis también señala el influjo cibernético en otros discursos que incluyen el post-humanismo, el ecologismo global y los discursos sobre el ciberespacio, al igual que la

filiación del pensamiento cibernético con múltiples disciplinas científicas que incluyen, además de la informática, las biotecnologías, las ciencias cognitivas, la investigación en el campo de la inteligencia artificial y la biología molecular, entre otras.

El trabajo de Lafontaine es de particular interés porque muestra cómo prácticamente todas las áreas del conocimiento han sido permeadas por las ideas de Wiener y sus colegas. En consecuencia, algunos de los modelos más influyentes en el conjunto de la producción científica contemporánea aparecen como herederos de la visión informacional.

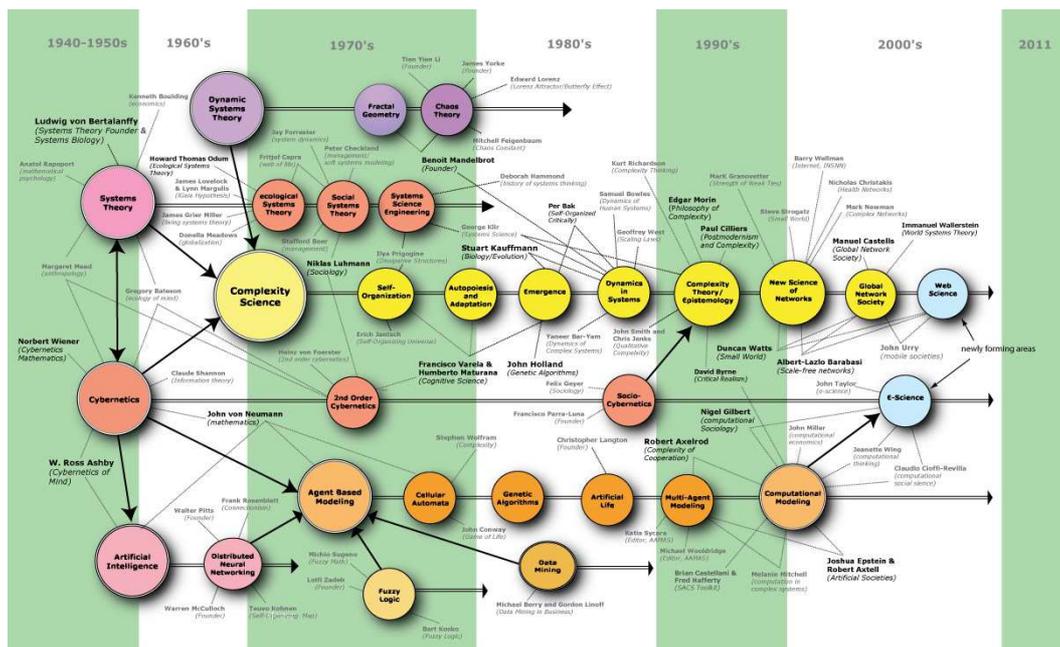


Figura 1. Este diagrama presenta de manera sintética el origen cibernético y el vínculo entre diferentes campos del conocimiento que incluyen el pensamiento de sistemas, las teorías de la auto-organización y diversos desarrollos en las ciencias sociales y las ciencias de la computación. Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AComplexity-map_Castellani.jpg.

En el marco de la reflexión aquí planteada este análisis es particularmente relevante, porque muestra cómo una serie de ideas y conceptos, que han sido importados del mundo de la ciencia a las elaboraciones de la arquitectura computacional, hacen parte de aquellos campos en los cuales la cibernética operó como disciplina primaria, o que encontraron en ella sus principales herramientas teóricas. Entre estas disciplinas se cuentan el pensamiento sistémico, la ciencia de la complejidad y varias ramas de la biología, cuyos vínculos con la cibernética, al igual que su influencia en la emergencia de nuevos paradigmas en la arquitectura computacional, serán analizados a lo largo de la disertación.

Visto el importante número de campos de investigación, modelos de pensamiento y teorías filosóficas en los que es posible rastrear el influjo de las ideas de la cibernética, cualquier aproximación sintética parece insuficiente para entender el enorme impacto del pensamiento informacional en el panorama intelectual y socio-cultural occidental de los últimos sesenta años. No obstante, los trabajos aquí presentados dan una idea global de cómo se ha generalizado el paradigma cibernético y de qué manera este se ha convertido en un referente ineludible para comprender el desarrollo de múltiples teorías científicas y construcciones culturales, que han ejercido notable influencia en las prácticas contemporáneas de arquitectura.

En este punto surge la pregunta sobre cuál ha sido el impacto de la cibernética en las elaboraciones de la arquitectura. Como se verá continuación, desde mediados del siglo veinte, diversas prácticas arquitectónicas han introducido en sus elaboraciones conceptos heredados directamente de la cibernética, o bien, han desarrollado modelos informados por campos del conocimiento estrechamente vinculados con el paradigma informacional. Este vínculo ha sido particularmente evidente en las prácticas de arquitectura computacional.

2.5 El paradigma cibernético en la arquitectura

Un aspecto compartido por muchas prácticas de la arquitectura contemporánea ha sido construir sus discursos en referencia a campos del conocimiento externos a la profesión. Este aspecto aparece claramente en el interés que en algún momento despertaron en la arquitectura modelos como la lingüística, el post-estructuralismo, el psicoanálisis y la teoría crítica. Esta tendencia continúa siendo muy influyente en las prácticas de diseño computacional. Crucialmente, estas prácticas, junto al empleo de la computación, han integrado en sus elaboraciones diferentes referencias a una variedad de campos del conocimiento cercanos al paradigma informacional.

No obstante, el interés de la arquitectura por los discursos de la información se remonta a varias décadas, de modo que la exploración de conceptos cibernéticos en la arquitectura no ha estado ligada exclusivamente a la introducción de la informática en la profesión.

En este sentido el trabajo de investigación de Christopher Hight es de particular interés. El autor ofrece un interesante análisis de cómo diversas corrientes de pensamiento cercanas al pensamiento informacional han influido en las elaboraciones de la arquitectura desde mediados del siglo XX. En el trabajo de Hight sobresale la cuestión de cómo muchos contenidos propios de la teoría cibernética informaron la arquitectura antes de que en la profesión se adoptaran las primeras herramientas informáticas.

Es revelador que Hight haya llamado *Architectural Principles in the age of Cybernetics*, un trabajo que trata en gran medida sobre la formulación de teorías de la arquitectura previas a la aparición del primer sistema de diseño asistido por ordenador. En este sentido la tendencia actual de la arquitectura computacional a cimentarse en narrativas informacionales, y a construir sus imaginarios en referencia al espíritu tecno-científico de la época, no sería otra cosa que la continuación de una tendencia de la que uno de los primeros ejemplos sería el célebre *Modulor* de Le Corbusier (Hight, 2008).

Antoine Picon también ha señalado que desde la posguerra se hicieron varios intentos por transportar los conceptos de la cibernética al ejercicio del diseño y de la arquitectura. Entre los más relevantes se pueden citar los experimentos del cibernético británico Gordon Pask, basados en la idea que los procesos de intercambio de información daban origen a patrones observables en la naturaleza, el trabajo gráfico de Gyorgy Kepes, que acompañó el artículo de Norbert Wiener *Pure Patterns in a Natural World*, o la propuesta de Richard Neutra, informada por la cibernética, de hacer una alianza entre el diseño y la neurofisiología (Picon, 2010, p. 33).

Para Picon otros ejemplos del influjo cibernético en la arquitectura se encontrarían en las exploraciones sobre la modularidad y repetición en la arquitectura corporativa de Eero Saarinen, en los proyectos de edificios interactivos del arquitecto británico Cedric Price, y en las propuestas de eliminar la distinción entre arquitectura y ciudad del movimiento megaestructural – entre las cuales jugaron un papel importante las propuestas de Yona Friedman y del grupo Archigram (Picon, 2010, pp. 34-38).

Picon también sugiere que una de las principales herencias de la cultura cibernética en la arquitectura se encuentra en las aproximaciones del modernismo tardío, basadas en la manipulación de patrones geométricos, de sistemas de signos y símbolos y en investigaciones tipológicas. En este sentido se pueden nombrar, además del trabajo teórico de Rudolf Wittkower y el ya mencionado modulor de Le Corbusier, las investigaciones de Colin Rowe, Antony Vidler y Peter Eisenman. La mención de este último es particularmente relevante pues su trabajo recuerda que la perspectiva computacional en la arquitectura fue desde sus inicios inseparable del giro semiótico propio de la modernidad tardía y de las manifestaciones tempranas del postmodernismo (Picon, 2010, pp. 45-46).

De hecho el trabajo de Eisenman se inscribe dentro de una tradición de investigación en la arquitectura, de la cual hacen parte las exploraciones de otros arquitectos pioneros de la introducción de la computación en la profesión. Entre ellos se encuentran figuras como Leslie Martin y Christopher Alexander, vinculados, como Eisenman, al centro de investigación LUBFS (*Center for Land Use and Built Form Studies*) en la universidad de Cambridge.

Crucialmente, las exploraciones llevadas a cabo en LUBFS, que pueden considerarse como el germen del desarrollo de la perspectiva computacional en la arquitectura, se llevaron a cabo bajo la influencia de modelos como el estructuralismo, la lingüística, el análisis de sistemas y la investigación de operaciones, cuatro campos del conocimiento con vínculos cercanos con el pensamiento cibernético (Rocha, 2004, Keller, 2006).

En este sentido es posible argumentar que, desde sus inicios, la investigación de los usos de la informática en la profesión ha estado permeada por los discursos de la información. El tipo de experiencias llevadas a cabo en LUBFS permite reforzar esta idea. Entre las investigaciones desarrolladas en este contexto ocuparon un lugar importante las aproximaciones basadas en la manipulación de lenguajes formales, y en la definición de la forma arquitectónica como un proceso resultante de métodos cuantitativos y científicos. Otras investigaciones iniciadas en Cambridge, igualmente cimentadas en la introducción de modelos provenientes de la ciencia, y que igualmente mantienen vínculos cercanos al pensamiento cibernético (entre ellos la teoría de grafos, el algebra booleana y las gramáticas formales), incluyen el trabajo de arquitectos como Philip Steadman, Lionel March y William Mitchell.

Desde entonces la exploración de la computación en la arquitectura ha venido junto con la redefinición de los problemas tradicionales de la profesión, en referencia a una serie de ideas heredadas de campos cercanos al pensamiento cibernético.

Los imaginarios propios de la producción digital de la arquitectura se han construido de la mano de nociones heredadas de campos como la teoría de sistemas, la lógica de la conectividad, la teoría de la complejidad, la biología molecular y evolutiva, el ecologismo global y las teorías feministas del *cyborg*, entre otros campos del conocimiento que se han desarrollado bajo el influjo del paradigma cibernético.

Lo anterior muestra que la influencia de la cultura informática en la arquitectura se ha reflejado en una importante redefinición de los problemas de la profesión, y que, en el caso de la perspectiva computacional, estas transformaciones no han estado motivadas exclusivamente por la introducción de las herramientas informáticas. Por el contrario, lo que se observa es que las investigaciones asociadas al empleo de la computación en la arquitectura han sido inseparables del desarrollo de nuevas visiones de los problemas disciplinares y de nuevas metodologías de diseño, que se han elaborado en referencia a una serie de ideas teorizadas por los cibernéticos.

En este sentido, las producciones de la arquitectura computacional aparecen como un ejemplo del tipo de relación entre lo cultural y lo tecnológico propuesto por Hayles, Haraway y Latour, quienes conciben la relación entre cultura y tecnología como un proceso de retroalimentación permanente entre artefactos e ideas. Aquí aparecen ligadas tres cuestiones que se desprenden de la revisión de la literatura seleccionada, y que se encuentran en el centro del argumento de la disertación:

La primera es la concepción de la cibernética como un paradigma de pensamiento indisoluble del desarrollo de la informática y de la consolidación de nuevos modelos en diversos campos del conocimiento. La segunda, que se desprende de la primera, es la consideración de la arquitectura computacional como un campo que se ha construido en referencia a una serie de ideas y modelos que se desprenden en gran parte del paradigma cibernético. La tercera, consecuencia de las dos anteriores, es la convicción que para comprender las producciones digitales de la arquitectura, debe considerarse la influencia no solamente de la pragmática, sino de la ontología y la epistemología informacional. Es decir, el análisis requiere entender no solamente los aspectos técnicos de la introducción de la informática en la arquitectura, sino cómo el desarrollo y evolución de la arquitectura computacional se ha inscrito dentro del complejo intercambio de factores, ideológicos y técnicos, que han definido la cultura informática.

2.6 Narrativas cibernéticas

Es en referencia a lo anterior que se usa el concepto de narrativa en el título de la disertación. De acuerdo con las ideas sobre la naturaleza del conocimiento científico expuestas por la sociología de la ciencia contemporánea, se comprende que las teorías científicas no son el espejo de la realidad, sino que, como todas las teorías, son modelos construidos, o inventados, por sujetos humanos; modelos de los fenómenos estudiados, y, especialmente, modelos para intervenir en el mundo. Desde esta perspectiva, la producción de teorías científicas no es diferente de la construcción de historias (Keller, 1992, pp. 74-75)

Si, desde esta perspectiva, la producción del conocimiento es equivalente a la construcción de historias que nos permiten dar sentido al mundo en el que vivimos, dentro del contexto planteado lo que el título sugiere es que las producciones de la arquitectura computacional aquí analizadas aparecen como un esfuerzo por dar significado, desde la profesión, a algunas de las ideas dominantes (plasmadas en el modelo cibernético) sobre las cuales se ha construido el conocimiento en el mundo contemporáneo.

A lo largo de la disertación se hará referencia a este conjunto de ideas mediante una serie de conceptos intercambiables como pensamiento cibernético, discursos de la información, paradigma informacional, que evocan la visión del mundo teorizada por los cibernéticos.

3. El performance de la arquitectura

3.1 Resumen

Uno de los aspectos relevantes del desarrollo de la perspectiva computacional en la arquitectura ha sido la exploración de nuevas metodologías de concepción, tecnológicamente mediadas, que han venido de la mano con una profunda redefinición de los problemas tradicionales de la disciplina y del estatus de sus objetos. Desde las primeras tentativas de integración de la informática en el diseño arquitectónico, este cambio en las elaboraciones de la profesión se ha construido en referencia a los discursos, aun de gran actualidad, sobre el *performance* de la arquitectura.

Definida por sus promotores como *Performance Design*, esta aproximación al diseño, además de explorar las posibles aplicaciones de las tecnologías de la información en la arquitectura, planteó una concepción de los problemas disciplinares informada por campos de investigación, cercanos a los discursos de la información, como el análisis de sistemas y la investigación de operaciones. Este vínculo indica cómo, desde sus orígenes, la perspectiva computacional en la arquitectura ha sido concebida en referencia paradigma de pensamiento promovido por la cibernética.

Desde entonces los objetos arquitectónicos han sido concebidos como fenómenos dinámicos, como sistemas integrados con el contexto y como el resultado de la interacción compleja de múltiples factores y fuerzas. Como se verá a lo largo de la disertación, estas han sido las visiones de los problemas de diseño que han dirigido una buena parte de la producción arquitectónica computacional, un campo en el que la idea que la forma sigue al *performance*, ha remplazado las concepciones funcionalistas heredadas de la arquitectura moderna.

El objetivo de este capítulo es señalar cómo esta nueva ontología de los problemas de la arquitectura se desprende en gran medida del paradigma de las ideas vehiculadas por la teoría cibernética. Con este fin, en la primera parte del capítulo se propone una breve descripción del significado y los orígenes del concepto de *performance* en la arquitectura, y de su vínculo con el pensamiento cibernético. Posteriormente se propone una mirada a cómo diversas prácticas de diseño computacional, que han explorado la construcción de los problemas de la arquitectura alrededor de la cuestión del *performance*, se han desarrollado en referencia directa a las nociones centrales del pensamiento de Wiener y sus colegas.

Este análisis, que señala el vínculo entre el pensamiento cibernético y el cambio de paradigma en la profesión, propio de la perspectiva computacional, es fundamental para comprender muchas de las ideas e imaginarios que han guiado la producción digital de la arquitectura, desde sus orígenes hasta la actualidad. Como se verá en los siguientes capítulos, los modelos dominantes en el campo de la arquitectura computacional, han coincidido en explorar la misma ontología del objeto arquitectónico promovida por los discursos del *performance*; crucialmente, sus elaboraciones han sido informadas por una serie de campos del conocimiento que mantienen un estrecho vínculo con el paradigma cibernético.

3.2 El *performance* de la arquitectura

Sus diferentes usos en el campo de la arquitectura, al igual que las diferentes acepciones del término, hacen de difícil traducción la palabra *performance*. De acuerdo con las definiciones propuestas por *The Oxford American Dictionary of Current English*, por *performance* puede entenderse: 1. el acto de llevar a cabo una acción; 2. la representación de una obra (teatral, musical, etc); 3. el logro de un objetivo bajo condiciones de prueba; o 4. las capacidades de una máquina. En las prácticas contemporáneas de arquitectura el concepto de *performance* se ha asociado de diversas maneras con todos estos posibles significados. Por lo tanto, a falta de una traducción satisfactoria en castellano que dé cuenta de esta variedad de definiciones, resulta más sencillo adoptar la palabra en inglés y hacer uso de ciertos neologismos, como *performativo*, *performatividad* o *performatismo*, para calificar los objetos y prácticas de la arquitectura que han introducido en sus elaboraciones principios de acción, evento, comportamiento y rendimiento.

De manera general, los modelos de diseño arquitectónico basados en la noción de *performance* han sido definidos como una serie de procesos operativos relacionados con consideraciones programáticas y sobre el contexto. Rivka Oxman considera estas aproximaciones como “procesos de formación dirigidos por un comportamiento deseado.” (Oxman, 2006, p. 257) La anterior definición recuerda que la noción de *performance* en la arquitectura se ha derivado de la premisa según la cual la relación entre forma y función en los edificios está íntimamente determinada por el contexto. Según Yehuda E. Kalay, la cuestión del *performance* se ha orientado a establecer “la conveniencia del comportamiento a partir de la confluencia de la forma, la función y el contexto”, es decir, la capacidad de un diseño para responder a ciertas necesidades en un contexto particular (Kalay, 1999, p. 400).

El origen de este tipo de elaboraciones coincidió con el desarrollo de procesos informáticos de evaluación de los proyectos arquitectónicos, procesos que en sus inicios fueron aplicados especialmente a la estimación de costos y al desarrollo de análisis estructurales. Recientemente la noción de *performance* se ha asociado con la utilización de herramientas digitales, de diseño y análisis, para apoyar métodos de concepción de la forma arquitectónica orientados hacia la integración, dentro de los procesos de diseño, de diversos aspectos del programa y del contexto. Tales aspectos incluyen las condiciones ambientales, las características materiales y costos del proyecto, así como perspectivas sociales, culturales, tecnológicas y ecológicas. En este sentido, Oxman amplía su definición del concepto de diseño *performativo* en la arquitectura computacional. Desde esta perspectiva los modelos *performativos* son considerados como aproximaciones compuestas de diseño que consisten en “una técnica de formación...o un proceso generativo cuyas variantes son definidas paramétricamente.” (Oxman, 2006, p. 257)

Aunque las definiciones propuestas por Oxman y Kalay resultan útiles para comprender la pragmática del diseño que se ha asociado con el concepto de *performance*, estas definiciones no dicen mucho sobre las ideas que subyacen a este tipo de prácticas. El interés del análisis aquí propuesto es establecer de qué manera la cuestión del *performance* de la arquitectura se ha construido no solamente a través del desarrollo de nuevas metodologías de diseño, tecnológicamente mediadas, sino mediante una reelaboración de los problemas tradicionales de la arquitectura en relación directa con los discursos de la información.

Como se mencionó arriba, la noción de *performance* se ha asociado con el desarrollo de métodos de concepción caracterizados por la integración en los procesos de diseño de diferentes aspectos, que hasta hace poco eran considerados externos al objeto arquitectónico. Desde el final de los años sesenta, la noción de *performance* en la arquitectura se ha asociado con la exploración de escenarios de proyectación orientados hacia la optimización de los problemas de diseño, el diseño ecológico, el estudio del comportamiento material de la arquitectura, al igual que hacia la concepción de los edificios como sistemas dinámicos y como instrumentos de mediación entre lo social y lo atmosférico. Crucialmente, estas son algunas de las preocupaciones centrales que han dirigido la producción computacional de la arquitectura (Figs. 1-3).

De manera general, en los discursos del *performance* de la arquitectura el concepto de *performance* ha hecho referencia simultáneamente a uno o varios aspectos relacionados con el comportamiento y/o el rendimiento óptimo de los objetos arquitectónicos. En consecuencia, las aproximaciones *performativas* se han polarizado entre las prácticas que han explorado la cuestión del *performance* principalmente en relación con los aspectos funcionales y técnicos de la arquitectura, y, en segundo lugar, aquellas que se han orientado hacia la exploración del *performance* en términos de lo sensorial y lo simbólico.²⁴

3.3 El rendimiento y el comportamiento de la arquitectura

En el caso de las prácticas orientadas hacia lo funcional y los aspectos técnicos, más cercanas a la definición del *performance* como rendimiento, se trata de aproximaciones al diseño que apuntan hacia el logro de objetivos bajo condiciones determinadas. En el segundo caso, donde la noción de *performance* se ha asociado más directamente con la idea de comportamiento, se ha apuntado hacia una concepción de la arquitectura como evento, como agente mediador entre lo ambiental, lo cultural y lo social.

²⁴ No obstante, esta distinción es en muchos casos borrosa. De hecho diversas prácticas han definido procesos que mezclan los objetivos y los métodos de una y otra aproximación. El mejor ejemplo de lo anterior lo ofrecen ciertas prácticas contemporáneas de diseño ecológico, donde, alrededor de la cuestión del *performance*, conceptos como optimización y rendimiento se han convertido en sinónimos de sensibilidad ambiental y se han puesto al servicio de una ética (y una estética) ecológica, por encima de consideraciones funcionales y económicas.

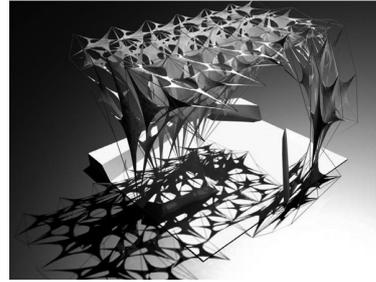


Figura 1

El proyecto *Web Membrela*, de *Ocean Design Research Association*, por ejemplo, es un caso paradigmático de una investigación orientada a concebir la forma arquitectónica como el resultado del análisis del comportamiento material del objeto diseñado. Fuente: <http://www.ocean-designresearch.net>

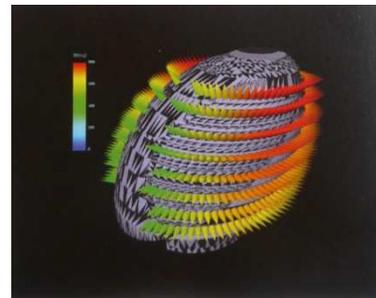


Figura 2

En el proyecto de *Foster & Partners* para la sede de la administración de Londres el diseño final fue en gran parte el resultado del análisis del impacto del asoleamiento global de las fachadas del edificio. Fuente: *Performative Architecture*, 2006. B. Kolarevic & A.M. Malkawi (Eds).

En el caso de las aproximaciones basadas en el rendimiento, el concepto de *performance* se ha asociado especialmente con problemas de optimización y eficiencia. Esta visión del *performance* de la arquitectura ya aparece en las primeras exploraciones, donde los problemas de la profesión eran pensados en referencia al campo de la investigación de operaciones, es decir, como una cuestión de resolución de problemas, de modo que se consideraba que la respuesta ideal a un problema era la más rápida, rentable y eficaz (Progressive Architecture, 1967).

En concordancia con esta manera de concebir los problemas de diseño, los modelos *performativos* se han definido bajo el objetivo de responder de manera eficiente a problemas que incluyen el comportamiento estructural, el correcto desempeño de las funciones y sistemas de acondicionamiento y el consumo de energía de los edificios, al igual que los aspectos relacionados con las características térmicas, lumínicas y acústicas de los espacios construidos (Fig.4).

Desde esta perspectiva los objetos arquitectónicos se han concebido como un conjunto interconectado de sistemas, subsistemas y elementos que responden a una serie de funciones estrechamente ligadas con el contexto, y cuyo comportamiento óptimo puede predecirse de manera científica, en gran medida gracias al empleo de las herramientas informáticas.

Aquí aparece un aspecto fundamental de los modelos *performativos*; se trata de su exploración, de la mano con las herramientas digitales, del carácter complejo y sistémico de la arquitectura. Uno de los ejemplos paradigmáticos de esta aproximación es el modelo



Figura 3

En el proyecto *Dynaform*, diseñado por Bernhard Franken y ABB Arquitectos, un campo de fuerza, que representa digitalmente las tensiones presentes en el sitio, fue empleado como aspecto generador de la forma. Fuente: www.franken-architekten.de

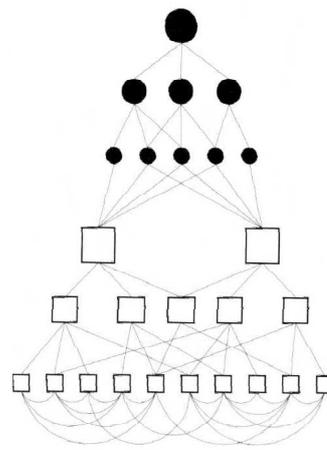


Figura 4

En un modelo de análisis de indicadores de performance propuesto por Godfried Augenbroe, entre los aspectos analizados aparecen factores energéticos, lumínicos, térmicos y de mantenimiento. En este sentido el proyecto es pensado como un conjunto de funciones garantizadas por una serie de sistemas compuestos por diversos elementos que actúan juntos. Fuente: *Performative Architecture*, 2006. B. Kolarevic & A.M. Malkawi (Eds). B. Kolarevic & A.M. Malkawi (Eds).

descrito por Christopher Alexander en su influyente ensayo *Notes on the Synthesis of the Form*, donde la idea de *performance* se relaciona con una concepción del diseño como el correcto balance entre las condiciones del proyecto y el contexto (Alexander, 1986).

Desde la consideración de la arquitectura como un problema de sistemas, los modelos *performativos* han consistido en una exploración del diseño como un problema de relaciones variadas y dinámicas. Se trata de una visión que obliga a pensar los edificios como parte de una totalidad que incluye, además del objeto arquitectónico, los múltiples factores, externos al edificio, que definen una realidad arquitectónica (Fig. 5).

En este sentido – y en gran medida gracias a las posibilidades abiertas por las tecnologías digitales – se ha consolidado una pragmática del diseño basada en una concepción de la arquitectura como el resultado de un proceso dinámico que refleja las relaciones complejas entre el objeto arquitectónico y las fuerzas presentes en el contexto.

Esta ontología del diseño es compartida por una variedad de prácticas en las que, alrededor de la concepción del *performance* como una cuestión de acción y/o comportamiento, los problemas de la arquitectura han sido pensados como el resultado de la retroalimentación entre múltiples factores. En consecuencia los objetos arquitectónicos han sido considerados, cómo lo plantea Sylvia Lavin, como artefactos dinámicos que actúan en el mundo y sobre los cuales el mundo actúa (Lavin, 2012). Desde esta perspectiva se han desarrollado diversas investigaciones sobre lo cinético y lo generativo, sobre el nuevo rol acordado en la arquitectura contemporánea a la ornamentación y sobre la percepción y la cognición de los

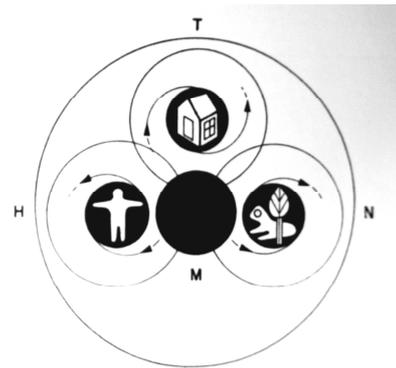


Figura 5

Este diagrama, que acompaña el artículo de Frederick Kiesler "On Correalism and Biotechnique", expresa claramente la concepción de los espacios habitables como un todo que incluye la interacción continua entre diferentes aspectos de la realidad, entre ellos los habitantes y el medio ambiente. Fuente: Architectural Record, 1939, Vol. 86 (3)

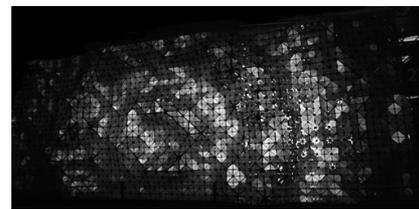


Figura 6

Un ejemplo paradigmático de la aspiración de crear objetos arquitectónicos capaces de exhibir algún tipo de comportamiento es el proyecto experimental Hyposurface, desarrollado por dECOi Architects. Fuente: www.hyposurface.com

espacios²⁵ (Figs. 6, 7, 8). En la misma línea se han investigado diversas metodologías de diseño basadas en procesos, al igual que exploraciones de la arquitectura como un evento, como una manifestación que incluye aspectos de teatralidad, afecto y experimentación.²⁶

Visiblemente, las investigaciones alrededor de la cuestión del *performance*, entendida en las elaboraciones de la arquitectura como el comportamiento y/o el rendimiento óptimo de los objetos arquitectónicos, ha dado lugar a tantas y tan diversas exploraciones, que la mayoría de las prácticas de arquitectura computacional pueden definirse de una u otra manera en relación con esta noción. Más importante aún, la concepción de los problemas de la arquitectura que subyace a estas visiones es, en términos del estatus acordado al objeto arquitectónico, en esencia la misma. Se trata de una visión de la arquitectura, basada en una lógica relacional, que implica pensar la profunda

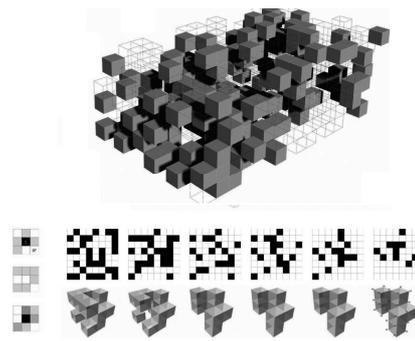


Figura 7

El empleo de sistemas generativos ha estado en el centro de la exploración del diseño como un proceso dinámico que incluye múltiples factores. En este caso Brandon Williams (Estudio Rucker) presenta un sistema basado en autómatas celulares que investiga una visión del diseño como un sistema basado en reglas. Fuente: AD, 2006, Vol. 76 (4).

²⁵ Al respecto, Patrick Schumacher establece una diferencia fundamental entre los procesos de diseño basados en la inclusión de la percepción de los usuarios y los procesos basados en principios de organización que operan independientemente del rol de los habitantes. Dice Schumacher que “[l]a organización se basa en la constitución o distribución de posiciones para los elementos espaciales y sus patrones de conexión. La articulación se basa en la constitución o distribución de identidades, similitudes y diferencias morfológicas entre los elementos arquitectónicos a ser organizados. La organización es instituida mediante los medios físicos de distanciar, separar y conectar a través de vistas y/o canales de circulación. Estos mecanismos físicos pueden (en teoría) operar independientemente de toda percepción y comprensión, y puede por lo tanto, en principio, ser eficaz sin ningún esfuerzo de articulación. Sin embargo, la restricción a una simple organización sin articulación, sin facilitar la navegación activa de los participantes, limita severamente el nivel de complejidad posible en el patrón de comunicación social así enmarcado. La articulación presupone cognición. Esta incluye la percepción y comprensión de los participantes y por lo tanto facilita la orientación activa de los participantes. La distinción de organización versus articulación está basada entonces en la diferencia entre lidiar con **cuerpos pasivos** versus la toma en cuenta de **agentes cognitivos** activos. Los dos registros se relacionan así: la articulación se basa en y revela la organización. Esta hace la organización de las funciones aparente. De esta manera esta eleva la organización hacia el orden.” (Schumacher, 2012)

²⁶ Por ejemplo, Antoine Picon sugiere que es en relación con una idea de retroalimentación entre sujeto y objeto que debe entenderse el tema del afecto en las prácticas de diseño actuales. Se trata de un proceso de definición del espacio habitable a través de dinámicas de formación que conciernen simultáneamente al habitante y al edificio (Picon, 2010). En términos similares Silvy Lavin se ha referido a la exploración del *performance* de la arquitectura como una manera de pensar los edificios como artefactos dinámicos que actúan en el mundo y sobre los cuales el mundo actúa (Lavin, 2012).

integración del objeto arquitectónico con el contexto.

Esta manera de concebir el objeto arquitectónico mantiene un vínculo directo con el modo de pensar los fenómenos en el mundo que se desprende del modelo de causalidad cibernético. El origen de este cambio de paradigma en la profesión puede buscarse en las primeras experiencias basadas en la introducción de las herramientas informáticas en el diseño. Una mirada al modelo definido como *Performance Design*, presentado en 1967 por *Progressive Architecture*, permite entender cómo, desde sus inicios, la idea de *performance* en la arquitectura se ha relacionado con una concepción cibernética de sus problemas.

3.4 El origen cibernético del Performance Design

En 1967 la revista *Progressive Architecture* publicó un volumen especial sobre una nueva aproximación al diseño definida como *Performance Design*. La aproximación descrita en *Progressive Architecture* – que, como recuerda William Braham, se inspiró en el trabajo desarrollado en la década de 1960 por arquitectos pioneros de la perspectiva computacional como Christopher Alexander, Peter McCleary y Lionel March (Braham, 2013)– se presentó como un conjunto de prácticas que pretendían explorar las posibilidades, para la arquitectura y la planeación urbana, que surgían del potencial ofrecido por disciplinas, cercanas al pensamiento cibernético, como el análisis de sistemas y la investigación de operaciones. Los editores de *Progressive Architecture* se referían concretamente al conjunto de técnicas “que permiten a alguien ver una serie de objetos aislados, o una serie de eventos independientes, como interconectados y mutuamente dependientes.” (Progressive Architecture, 1967, p. 106)

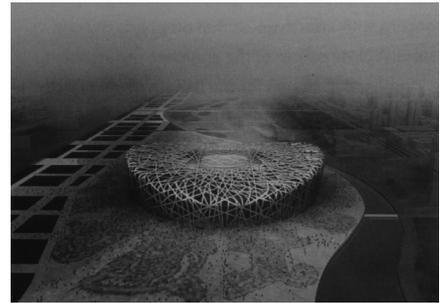


Figura 8

Herzog y De Meuron se cuentan entre los arquitectos que han desarrollado un lenguaje formal en el que se reintroduce el ornamento como un aspecto fundamental en la definición del objeto arquitectónico. Su proyecto para el estadio de Beijing es un ejemplo paradigmático de esta tendencia. Fuente: Digital Culture in Architecture, 2010. A. Picon.

A partir de la concepción de los objetos arquitectónicos y urbanos como sistemas de elementos interrelacionados, el modelo propuesto aspiraba a estudiar sistemáticamente los edificios y la ciudad como todos integrados.²⁷ De esta manera se pretendía extraer de este tipo de análisis conclusiones y previsiones aplicables a problemas de diseño cada vez más complejos (*Progressive Architecture*, 1967, p. 106).

El influjo del pensamiento cibernético en los discursos del *Performance Design* aparece, de manera patente, a través de dos aspectos clave que se encuentran en el centro de sus elaboraciones: la concepción de los objetos arquitectónicos y urbanos como sistemas y la propuesta de analizarlos en términos de su comportamiento o rendimiento, es decir, de su *performance*. Tal influencia era evidente para los promotores de esta aproximación al diseño, para quienes sus modelos de referencia hacían parte de la base tecnológica y científica que se desarrolló como parte de los “esfuerzos de guerra” en Estados Unidos y Gran Bretaña durante la segunda guerra mundial; periodo de intensa investigación científica durante el cual “la revolución cibernética ganó su ímpetu.” (*Progressive Architecture*, 1967, p. 107).

En efecto, los conceptos de sistema y *performance*, tal como son empleados en los discursos del *Performance Design*, tienen un estrecho vínculo con el pensamiento cibernético.

La noción de sistema, como es definida por autores como Herbert Simon o Ludwing von Bertalanffy, está directamente relacionada con la visión comunicacional de los fenómenos promovida por la cibernética. En correspondencia con esta visión, en este contexto un sistema se define como una compleja red de elementos interconectados e inmersos en un incesante proceso de intercambio; de esta manera los fenómenos dejan de ser pensados como entes individuales para ser considerados como conjuntos de elementos y/o como parte constitutiva, en un nivel superior, de conjuntos más amplios que los contienen.²⁸

²⁷ Es interesante constatar que en las prácticas descritas en el artículo inaugural de *Progressive Architecture* ya se encuentran varios aspectos que recientemente han ganado gran interés, en parte gracias al enorme desarrollo y expansión en las últimas dos décadas de las aplicaciones informáticas en la arquitectura. Tanto el funcionalismo de las aproximaciones *performativas* (optimización, eficiencia y sostenibilidad), como su exploración de los aspectos sensibles de la arquitectura (estéticos, ambientales y psicológicos) son dos de las características principales de las prácticas actuales que ya aparecían como una preocupación fundamental en el método descrito en el artículo de *Progressive Architecture* – descrito como “un método científico de análisis de requerimientos funcionales” que incluía “necesidades psicológicas y estéticas.” (Citado en Braham, 2005, p.57).

²⁸ Este es el tema del siguiente capítulo, donde se presenta un análisis de la relación del pensamiento cibernético y la teoría de sistemas, y el influjo de ésta última en la producción computacional de la arquitectura.

En cuanto al concepto de *performance*, este aparece en la teoría cibernética como el corolario de la concepción de los fenómenos en el mundo como sistemas interconectados. En el pensamiento de Wiener la idea de *performance* se relaciona con la comprensión del comportamiento de un sistema (sea este un organismo o una máquina) en términos de las relaciones, del intercambio de información, que tal sistema establece con su medio.²⁹ De acuerdo con la visión del autor de *Cibernética*, la estructura de un organismo, o de un servomecanismo, es considerada como un indicador del *performance* que puede esperarse de éste (Citado en Sprecher, 2012, p.27). Lo anterior está estrechamente vinculado con la transformación en la comprensión de los fenómenos en el mundo promovida por la cibernética, cuyo modelo de causalidad obliga a abandonar la concepción de los fenómenos como entidades individuales, para ser concebidos como componentes de un vasto sistema de elementos interconectados.

De cierto modo las definiciones de estos dos conceptos (sistema y *performance*), sintetizan los objetivos del *Performance Design*. Resumiendo, se trata de una aproximación al diseño según la cual un edificio, o un problema de diseño urbano, puede plantearse como el resultado de las relaciones que se establecen entre los múltiples factores que participan en su definición. En base a esta lógica relacional, la medida de éxito de un problema de diseño es el *performance* del edificio, su rendimiento o su comportamiento; es decir, la correcta, o incorrecta, adecuación entre los diferentes elementos del sistema



Figura 9

Este diagrama representa la definición de un problema de diseño arquitectónico como una búsqueda de la organización óptima de sus elementos. El modelo funciona mediante la atribución de puntajes a diferentes configuraciones, generadas automáticamente por un programa computacional, en función de la relación entre los componentes del sistema. De este modo se aspira a encontrar la solución cuyo comportamiento es el más adecuado respecto a los requerimientos del problema. Fuente: *Progressive Architecture*, 1967, Vol. 48.

²⁹ Aquí cabe recordar que en el pensamiento cibernético tanto los organismos como las máquinas son concebidos como sistemas retroalimentados, o sea, como sistemas regulados por flujos de información.

diseñado (Fig. 9). Lo anterior se ha asociado con la convicción que un problema de diseño puede resolverse científicamente, gracias al empleo de herramientas cuantitativas de análisis, mediante la observación del *performance* global del sistema.

En el modelo propuesto en *Progressive Architecture* la idea de *performance* se refiere a una función de utilidad propia de la lógica de los “métodos de optimización” expuesta por Herbert Simon en *The Sciences of the Artificial*. Para Simon un artefacto debe ser pensado como el punto de encuentro (la interfaz) entre el ambiente interno del artefacto (su organización) y un ambiente externo dado (el contexto en el que el artefacto opera). Partiendo de esta definición de un objeto diseñado (lo artificial), la lógica de optimización es descrita así: “El «ambiente interno» del problema de diseño es representado por un conjunto dado de alternativas de acción. Las alternativas pueden ser dadas *in extenso*: más comúnmente estas son especificadas en términos de *variables de control* que tienen dominios definidos. El «ambiente externo» es representado por un conjunto de parámetros que pueden ser conocidos con certeza o sólo en términos de una distribución de probabilidad. Los objetivos para la adaptación del ambiente interno al ambiente externo son definidos por una función de utilidad...posiblemente complementada por un número de restricciones... El problema de optimización es encontrar un conjunto admisible de valores de las variables de control...que maximicen la función de utilidad para los valores dados de los parámetros ambientales.” (Simon, 1996, p. 116)

En concordancia con lo expuesto por Simon, el modelo propuesto por *Progressive Architecture* es descrito como un proceso que comprende cuatro fases: Primero, la definición del problema. Segundo, la derivación de los requerimientos del sistema; esto significa que todos los aspectos del sistema deben ser cuantificados, si es posible. Para los aspectos del sistema de los cuales no existen datos deben llevarse a cabo experimentos que permitan prever su comportamiento. La tercera fase constituye la separación del sistema en sus partes, sus componentes identificables y subsistemas. El propósito de esta fase es entender la influencia de las características de las partes y su efecto en el *performance* global del sistema; lo anterior partiendo de la premisa que la manipulación de las características de los subsistemas permite llegar a un estado óptimo, es decir, al mejor sistema global posible. La cuarta fase constituye la implementación de las conclusiones extraídas. Esto incluye una fase de retroalimentación, donde el *performance* real es comparado con el *performance* planeado, que permite corregir las fallas del sistema y poner a prueba el efecto de las correcciones realizadas respecto al plan original (Progressive Architecture, 1967, pp. 108-110).

Esta manera de abordar los problemas de diseño se ha relacionado con dos ideas, centrales en el influyente trabajo de Herbert Simon, que son inherentes al desarrollo de la informática: por una

parte, la certeza de que una gran cantidad de cosas pueden cuantificarse para ser analizadas sistemáticamente y, por la otra, que las tecnologías de la información constituyen la herramienta ideal para resolver cualquier tipo de problema, especialmente aquellos que por su complejidad incluyen un vasto número de variables. Consecuentemente, desde sus inicios, los modelos basados en el *performance* de la arquitectura se construyeron como una aproximación al diseño enfocada en el procesamiento de datos y variables, correspondientes a los múltiples factores que participan en la definición de un proyecto.

La posibilidad de resolver un problema de diseño mediante el análisis y manipulación de datos correspondientes a los factores que participan en su definición, se ha relacionado con una cuestión central en el pensamiento cibernético. Se trata de la premisa que sugiere que todos los fenómenos en el mundo pueden ser concebidos como procesos de intercambio de información, y que, por lo tanto, la información es el aspecto regulador que permite a un sistema alcanzar un estado de equilibrio, un correcto balance con su entorno.

Esta idea ha estado latente en el pensamiento arquitectónico desde las primeras investigaciones sobre el uso de la informática en el diseño. Así, en el campo de la arquitectura computacional, el empleo de la información, como herramienta de control y medida del *performance* de un problema de diseño, ha venido de la mano con la construcción de los objetos arquitectónicos como fenómenos comunicacionales y como sistemas de retroalimentación.³⁰

Teniendo en cuenta la cercanía que ha existido entre la definición de nuevas metodologías de diseño basadas en el empleo de la informática y la redefinición de los problemas de la arquitectura en referencia al paradigma informacional, el modelo propuesto por los promotores del *Performance Design* constituye el ejemplo paradigmático de cómo las elaboraciones de la arquitectura computacional han sido, en gran medida, el resultado de la retroalimentación entre los modos de producción y las ideas que han dado forma a la cultura informática (y de cómo en este proceso han jugado un papel crucial las narrativas puestas en circulación por la cibernética).

En el caso de los modelos *performativos*, la idea de interpretar los problemas de la arquitectura como un problema de integración del objeto arquitectónico con el ambiente ha sido inseparable de los modos de operación que permite la informática: manipulación de lenguajes formales, cuantificación, expresión matemática, etc. No obstante, aunque este ha sido un aspecto central de

³⁰ Como se verá en el siguiente capítulo, a través de la exploración de estas ideas también se ha abierto el camino al desarrollo de nuevos imaginarios de inspiración biológica en la arquitectura, imaginarios desde los cuales los objetos arquitectónicos, en correspondencia con las representaciones cibernéticas de los sistemas de retroalimentación, han sido pensados como artefactos con características similares a las de los organismos y los servomecanismos.

los métodos empleados, los modelos e imaginarios desarrollados en este campo expresan ante todo una manera de entender el mundo, una ontología informacional teorizada por la cibernética. En este sentido se entiende que la pragmática computacional en la arquitectura ha sido inseparable de una manera de concebir los fenómenos en el mundo como sistemas comunicacionales.

Lo anterior aparece de manera evidente en diversas producciones de la arquitectura computacional en las que, alrededor de las visiones del objeto arquitectónico que se desprenden de los discursos del *performance*, los objetos arquitectónicos han sido redefinidos en referencia al énfasis cibernético sobre la naturaleza comunicativa de los organismos y las máquinas, y otros aspectos centrales de las teorías del control y la comunicación.

3.5 Analogías cibernéticas en el diseño performativo

Junto a la definición de la arquitectura como un problema de sistemas y del diseño como un proceso basado en la manipulación de información, se han desarrollado una variedad de aproximaciones al diseño, donde la cuestión del *performance* se ha asociado con diferentes categorizaciones cibernéticas de los objetos arquitectónicos y de los procesos de concepción.

Entre estas referencias cibernéticas, alrededor de las cuales se han construido las visiones de una arquitectura *performativa*, se destacan especialmente las alusiones al modelo de causalidad circular, y al rol de la información como fuerza reguladora en los procesos de diseño. De esta manera la arquitectura se ha concebido como una especie de mecanismo homeostático, como un sistema que se mantiene en estado de equilibrio gracias a una lógica de retroalimentación permanente entre el objeto arquitectónico y su contexto. En consecuencia, la labor del arquitecto ha sido concebida como la manipulación de datos y variables, de la información que permite lograr una correcta adecuación entre la forma arquitectónica y las condiciones de un contexto dado.

Por ejemplo, en la descripción de una investigación “que emplea los modelos computacionales del *performance*”, Christopher Hight describe su propuesta como un sistema que opera “dentro de flujos informacionales como demonios de Maxwell, revirtiendo momentáneamente las probabilidades entrópicas.” (Hight, 2012, pp. 39-41) Esta descripción, que remite directamente a los escritos de Norbert Wiener, hace clara referencia a tres conceptos centrales en el pensamiento cibernético: información, organización y entropía. Hight emplea la definición cibernética de la información como entropía negativa – es decir, como aspecto regulador que permite a un sistema abierto mantener un estado estable, en oposición a la tendencia natural del universo hacia el desorden – para caracterizar una aproximación cibernética a un problema de diseño. Para Hight un método de diseño basado en

una lógica de retroalimentación, entre el análisis de la información sobre un problema dado y el conjunto de posibles soluciones, garantiza una capacidad de respuesta que permite el correcto equilibrio entre el proyecto y su contexto. Esta es en gran medida la misma pragmática del diseño promovida en el artículo inaugural de *Progressive Architecture*.

Yasha J. Grobman también ha usado el concepto cibernético de entropía para caracterizar el rol de la información como aspecto regulador en el diseño. En un artículo donde el autor discute diferentes dimensiones del concepto de *performance* en la arquitectura, se plantea que el aumento de la información sobre la forma arquitectónica conlleva a una mejor conciencia espacial por parte de los arquitectos. En palabras de Grobman lo anterior se reflejaría en el decrecimiento de la entropía de los problemas arquitectónicos. En este sentido el papel de la información, como aspecto fundamental en la producción de la forma arquitectónica, aparece vinculado con una nueva dimensión en la profesión; se trata de una dimensión que es construida mediante jerarquías de información que resultan, gracias al uso de la informática, del aumento de la cantidad de información incorporada en la forma y en el diseño arquitectónico (Grobman, 2012, pp. 9-12).

La idea de incorporar la información como fuerza generativa y reguladora en la definición de la forma arquitectónica ha constituido el centro de las exploraciones de algunas de las prácticas contemporáneas de diseño digital más influyentes, prácticas en las que la idea de *performance* ha estado asociada una idea de operatividad de los procesos de diseño.

Lars Spuybroek, por ejemplo, al describir una metodología de diseño que él define como “técnicas intensivas de diseño”, hace referencia a varias nociones centrales del pensamiento cibernético, que se desprenden de la concepción del diseño como un proceso informacional. Al respecto dice Spuybroek que “para mapear fuerzas entrantes y salientes...dentro de un [sistema] continuo, una técnica en red y auto-organizada es requerida. Una técnica intensiva significa informar un sistema virtual, el cual, durante el procesamiento de tal información, toma forma en una estructura real que es un registro de información.” (Spuybroek, 2005, p. 167) Así, en la metodología de diseño propuesta por el director de NOX, la arquitectura es concebida como el producto de un proceso comunicacional con *inputs* y *outputs*, como el producto de un intercambio de información que se materializa en la forma arquitectónica.

Esta es más o menos la misma fórmula que aparece en el popular ensayo de Greg Lynn, *Animate Form*. De manera similar a lo expuesto por Spuybroek, en la aproximación propuesta por Lynn, el diseño es concebido como un proceso en el que la forma arquitectónica aparece como la actualización de las fuerzas que participan en su definición. De esta manera Lynn concibe el diseño como “un espacio activo y abstracto que dirige la forma dentro de una corriente de fuerzas que pueden ser registradas como información en la configuración de la forma.” (Lynn, 1999)

Ideas muy similares también han sido exploradas en el trabajo diagramático de estudios como UN Studio y *Foreign Office Architects*. Ben van Berkel y Caroline Bos, por ejemplo, se han referido al trabajo con diagramas como una técnica que permite pensar el diseño como una

Tanto en el caso de los procesos descritos por Spuybroeck y Lynn como en los modelos diagramáticos elaborados por UN Studio y FOA, las metodologías desarrolladas se basan en la idea que la forma arquitectónica es el resultado de de la información recolectada durante el proceso de diseño.

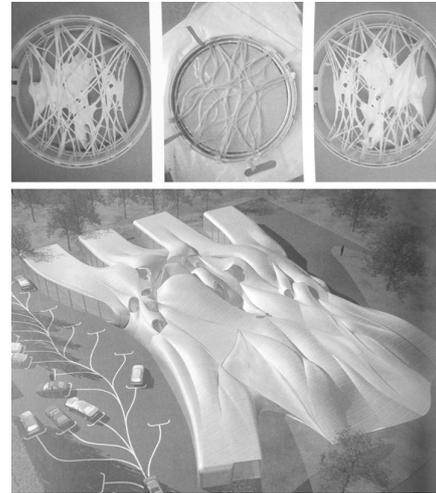


Figura 10

Entre las exploraciones de NOX sobre el diseño como un proceso computacional, se destacan investigaciones donde el comportamiento de la materia es concebido como un sistema de computación analógica. De esta manera los aspectos materiales del objeto arquitectónico son introducidos en los procesos de diseño como uno de los aspectos (inputs) que dirigen la producción de la forma arquitectónica (output). Fuente: www.nox-art-architecture.com

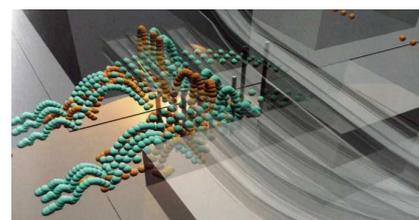


Figura 11

*Captura de un instante de un flujo de partículas realizado mediante una técnica de animación para la generación de la forma de una estructura concebida a partir de arcos resistentes a la fuerza de gravedad. Proyecto para el Port Authority Gateway. Greg Lynn – Form. Fuente: *Animate Form*, 1999. G. Lynn.*

práctica digitalmente mediada por flujos de información: “la técnica diagramática provee un punto de apoyo en los rápidos flujos de información mediada.” (Van Berkel & Bos, 2010, p. 224) Alejandro Zaera Polo por su parte se refiere al trabajo con técnicas paramétricas como una manera de introducir en el proceso de diseño datos correspondientes a una serie de aspectos que sin las herramientas informáticas eran de difícil manipulación. Para el director de FOA “la visualización y operación con datos numéricos...permite introducir otros parámetros en las herramientas arquitectónicas (tales como tiempo, luz, temperatura, peso, etc.) que no éramos capaces de visualizar previamente.” (Zera Polo, 2010, p. 237)

En los ejemplos anteriores una misma idea subyace a las metodologías de diseño exploradas, a saber, que la forma arquitectónica resultante de un proceso de diseño es el registro de la información recolectada durante el proceso. (Figs. 10-13)

De la mano con el rol acordado a la información como fuerza reguladora dentro de los procesos de diseño, la noción de causalidad circular ha sido otra de las nociones cibernéticas constantemente referidas en las prácticas de diseño computacional. Esta idea que ha estado en el centro de las investigaciones de la arquitectura computacional desde sus orígenes, ha sido especialmente explorada en referencia a la dinámica que se establece entre el objeto arquitectónico y el contexto. Por ejemplo, el influyente modelo de análisis de la forma propuesto por Christopher Alexander, parte de considerar la forma arquitectónica como el resultado de la adecuación (o la inadecuación) de los requerimientos de un diseño a las condiciones de un contexto dado. Para Alexander “cuando hablamos de diseño, el objeto real de discusión

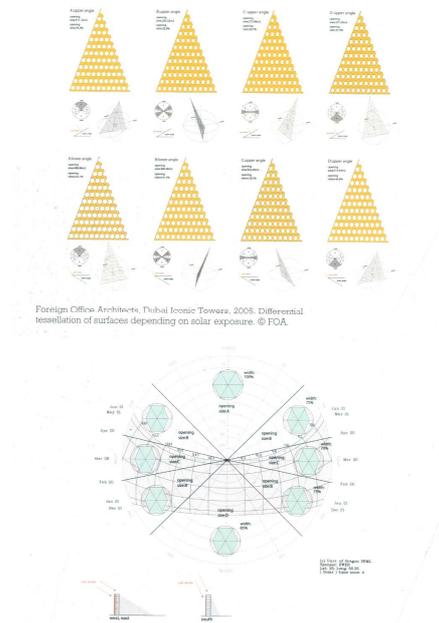


Figura 12

Mediante este diagrama se representa el impacto en la variación de una forma diseñada de los resultados de un análisis solar. En este proyecto de FOA se emplea la información resultante del análisis como input para el diseño de la fachada del proyecto “Dubai Iconic Towers”. Fuente: *The Diagrams of Architecture*, 2010. M. Garcia.

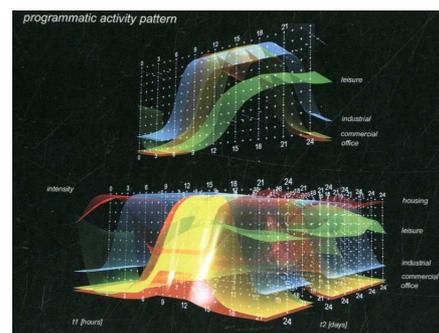


Figura 13

En el trabajo diagramático de UN Studio, los datos recolectados son mapeados en representaciones que funcionan a la vez como herramientas analíticas y como esquemas formales que sirven de apoyo en los procesos de concepción. Fuente: *The Diagrams of Architecture*, 2010. M. Garcia.

no es sólo la forma sino el conjunto que comprende la forma y su contexto.” (Alexander, 1986, p. 22).

Recientemente Ali Rahim ha descrito la cuestión del *performance* de un problema de diseño en términos similares. Para Rahim la cuestión del *performance* de la arquitectura se refiere al cambio material, organizacional y cultural que resulta de un proceso emergente que incluye circuitos de retroalimentación entre los diversos actores que participan en la definición de una realidad arquitectónica (Fig. 14). Desde esta perspectiva la creación de la forma en la arquitectura es considerada como un proceso determinado por la reacción a estímulos externos que transforman una situación de habitación. Esto implica “la retroalimentación entre un sujeto y el medio ambiente y entre la arquitectura y su medio.” (Rahim, 2005, p. 179)

La caracterización del *performance* como la medida de la adecuación, o de la retroalimentación, entre el objeto arquitectónico y el contexto, ha conducido a concebir dentro del paradigma cibernético no solamente la naturaleza del objeto arquitectónico, sino todos los aspectos que participan en un proceso de diseño. Por ejemplo, al describir una metodología de diseño basada en el *performance*, Craig Shwitter recalca la importancia de entender y desarrollar meticulosamente los datos de entrada (*inputs*) y el rol crítico de la retroalimentación en el diseño, para obtener y dar forma a datos de salida (*outputs*) desconocidos. Esta referencia al modelo cibernético de causalidad se extiende también a los actores que participan en la definición de un diseño. Así, para Shwitter, un ejercicio de diseño *performativo* también requiere la integración del equipo de diseño y circuitos de retroacción bien comunicados entre los miembros del grupo (Schwitter, 2005, p. 114).

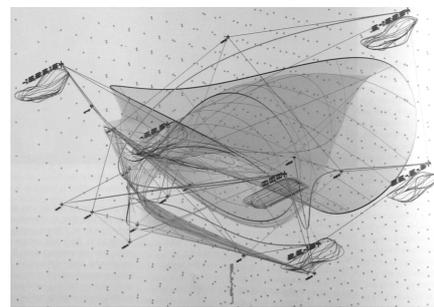
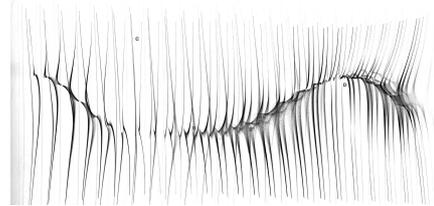
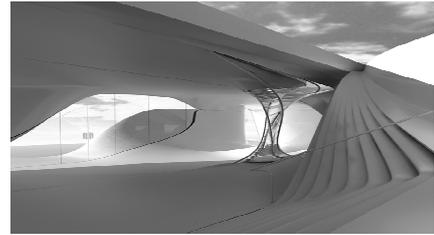


Figura 14

Ali Rahim ha explorado una lógica de concepción donde la forma arquitectónica es concebida como un sistema reactivo, como una formación catalítica, que responde a estímulos y que se encuentra inmerso en un contexto que incluye tanto los aspectos materiales de la arquitectura, como el medio ambiente y los habitantes. Fuente: *Catalytic Formations: Architecture and Digital Design*, 2006. A. Rahim.

Lo que señala Shwitzer es sumamente relevante, pues su argumento permite entender hasta qué punto la visión cibernética se encuentra enraizada en las prácticas de diseño basadas en la exploración de la arquitectura como un fenómeno *performativo*. Claramente, en este campo, la referencia a los discursos de la información no constituye simplemente una estrategia retórica para justificar una metodología de diseño basada en el empleo de herramientas informáticas. La permanente alusión a las nociones cibernéticas en la caracterización de los problemas de diseño, refleja la profunda influencia de los modos de pensamiento propios del paradigma informacional en la arquitectura. Se trata de una visión en la que los fenómenos (físicos, biológicos y sociales) se consideran afiliados entre sí y en un estado de flujo constante. De este modo no es solamente el objeto arquitectónico el que es pensado dentro del marco conceptual propuesto por el pensamiento cibernético, sino todos los procesos y actores que intervienen en la definición del espacio; es decir, es la realidad misma la que es concebida como un fenómeno cibernético.

3.6 Conclusión

En las páginas precedentes se ha tratado de mostrar cómo, a partir los inicios de la perspectiva computacional en la arquitectura, se han desarrollado aproximaciones al diseño basadas en la exploración simultánea de los modelos de pensamiento y las técnicas que han dado forma a la cultura informática. Como se ha visto, una de las ideas dominantes en este terreno ha sido la consideración de los objetos arquitectónicos como artefactos *performativos*, es decir, como sistemas dinámicos, capaces de responder a las condiciones variables que los definen. Se trata de una visión de los problemas de la profesión que, desde las primeras experiencias que exploraron el empleo de la informática en el diseño, ha estado profundamente influenciada por el paradigma cibernético.

Mediante la exploración de esta idea se ha señalado cómo la concepción del diseño promovida por los discursos del *performance*, que en principio se asoció especialmente con campos como el análisis de sistemas y la investigación de operaciones – y que comprendió una concepción del trabajo del diseñador como una cuestión de resolución de problemas –, ha dado paso a la concepción de la arquitectura como un sistema dinámico, altamente integrado con el contexto, y regido por flujos de información. O sea, como un fenómeno definido por las mismas categorías desde las cuales el pensamiento cibernético planteó un cambio de paradigma en la ciencia contemporánea.

Esta es la ontología del diseño que se encuentra en el centro de algunas de las prácticas más influyentes en el campo del diseño computacional; prácticas que, crucialmente, se han apoyado en conceptos importados de diferentes modelos de pensamiento herederos de los discursos de la información.

Este es el problema central del análisis planteado en los siguientes capítulos, que constituyen una exploración sobre cómo tres construcciones dominantes de la arquitectura computacional (la conceptualización de los problemas de diseño como sistemas, como mecanismos genéticos y como fenómenos complejos), han explorado, en referencia a la teoría de sistemas, a las visiones informacionales de la biología y a la teoría de la complejidad respectivamente, diferentes elaboraciones cibernéticas de los problemas de diseño, que comparten la misma visión de los problemas de la arquitectura promovida por los discursos del *performance*.

4. Sistemas

4.1 Resumen

En las últimas décadas una lógica de sistemas ha sido explorada en el estudio de una variedad de problemas en diversos campos, dando paso a una visión del mundo desde la cual una serie de fenómenos físicos, biológicos y sociales han sido pensados como modos de organización interrelacionados y cuya esencia debe buscarse no solamente en su estructura interna, sino en sus relaciones con el medio ambiente. Esta visión de los fenómenos aparece claramente expuesta en el esquema teórico propuesto por Ludwing Von Bertalanffy en su *Teoría General de Sistemas*, modelo que tiene su origen en una visión de los organismos biológicos inspirada en los discursos de la comunicación.

En el campo del diseño computacional, la concepción de la arquitectura en referencia a este modelo ha sido inseparable de su construcción alrededor de las ideas centrales del pensamiento cibernético. Como se vio en el capítulo precedente, en relación con el carácter cibernético de los discursos del *performance*, uno de los aspectos centrales que se encuentran en el origen de este tipo de aproximación en la arquitectura fue su definición como una práctica subsidiaria del análisis de sistemas. Desde entonces la visión sistémica ha estado en el centro de las exploraciones de la arquitectura computacional.

El objetivo de este capítulo es señalar en qué sentido la comprensión de los problemas disciplinares de la arquitectura desde una perspectiva sistémica, ha definido la agenda de investigación de algunas de las prácticas dominantes de arquitectura computacional.

Con este objetivo, en la primera parte del capítulo se exponen los principales postulados de la teoría de sistemas, desde la perspectiva de su relación con la teoría cibernética. A partir de este trabajo de síntesis, en la segunda parte del capítulo se propone un análisis que pretende mostrar cómo la visión sistémica subyace a la construcción, propia de las prácticas de diseño computacional, de los hechos arquitectónicos como totalidades, como el resultado de la integración compleja entre los diversos aspectos que definen una situación de habitación y como mecanismos auto-regulados.

A partir de este análisis se propone una mirada a cómo la concepción sistémica de los problemas de diseño mantiene un estrecho vínculo con la construcción de analogías biológicas en las elaboraciones de la arquitectura digital. Se trata de un aspecto propio de muchas prácticas de diseño computacional, que permite pensar cómo el influjo del paradigma cibernético en las producciones digitales de la arquitectura se percibe a través de otros campos del conocimiento científico, cercanos a los discursos de la información, que han informado sus producciones – esta es la base del análisis planteado en los capítulos 5 y 6.

4.2 La teoría general de sistemas

Según Ludwing Von Bertalanffy, la teoría general de sistemas (TGS) nació como una crítica a la aproximación mecanicista de la ciencia moderna, aproximación que, según el autor, negaba lo esencial del fenómeno de la vida.³¹ En oposición a este modelo, la visión desarrollada por Bertalanffy se planteó como una concepción orgánica de las ciencias biológicas que ponía en evidencia “la importancia del organismo considerado como un todo o un sistema”, y cuyo objetivo principal era el “descubrimiento de principios de organización a todos los niveles.” (Bertalanffy, 1993, p. 10)

De acuerdo con la definición propuesta en la TGS, un sistema es considerado como un complejo de elementos en interacción, donde los elementos p están ligados por relaciones R y donde el comportamiento de p varía en función del tipo de relación, de manera que el comportamiento de p en R difiere del comportamiento de p en R' (Bertalanffy, 1993, p. 53).

De este modelo, inicialmente pensado para el estudio de los organismos, se desprendió una manera de concebir una variedad de fenómenos como totalidades organizadas, que se ha extendido hacia diversos campos del conocimiento. En el origen de esta definición del concepto de sistema se encuentra una representación del funcionamiento del organismo que se desprende de algunos de los conceptos centrales del pensamiento cibernético y de la teoría de la

³¹ Al respecto Maria Rovaletti recuerda que la segunda regla del método de Descartes exige fragmentar los problemas en elementos simples y separados, y que ese ha sido el paradigma conceptual de la ciencia moderna. “Se trata de resolver y reducir los fenómenos complejos a partes y procesos elementales para luego reunirlos, sea experimental o sea conceptualmente, a fin de hacer «objetivo» el fenómeno.” (Rovaletti, 1989, p. 45) Rovaletti también explica que la metodología clásica newtoniana consistía igualmente en concebir los objetos de investigación como un conjunto de elementos aislados a partir del cual se pretendían deducir propiedades generales sin tomar en cuenta la relación entre las partes (Rovaletti, 1989, p. 45).

información de Shannon. Definido como un sistema abierto, el organismo es concebido por Bertalanffy como un mecanismo auto-regulado que mantiene un estado estable gracias a su capacidad de organizar su estructura a partir de sus interacciones con el ambiente.

A partir de esta consideración sobre el funcionamiento del organismo, Bertalanffy propuso su teoría general de sistemas, que fue concebida como un modelo para estudiar desde la misma perspectiva las ciencias biológicas, las ciencias del comportamiento y la sociología. Su propuesta consistía en generalizar el modelo desarrollado para el estudio de los organismos, partiendo del supuesto que existía una similitud estructural, o isomorfismo, entre diferentes problemas de investigación. Esto implicaba concebir los fenómenos físicos y sociales desde la misma perspectiva empleada para la conceptualización del organismo como un sistema abierto. En consecuencia, para el estudio de cualquier fenómeno considerado como un sistema, era primordial tener en cuenta problemas de orden, de organización, de totalidad y de teleología (Bertalanffy, 1993, p. 12).

4.3 Organización, totalidad y teleología

El concepto de organización, aunque definido vagamente por Bertalanffy, es esencial en la concepción sistémica. El filósofo de los sistemas Erwin Laszlo deja entrever su rol primordial en su introducción a la *Teoría general de sistemas* de Bertalanffy. Laszlo sostiene que la visión organicista desarrollada por Bertalanffy “se refiere al organismo vivo como «sistema organizado» y define la tarea fundamental de la biología como el descubrimiento de leyes aplicables a los sistemas biológicos en sus diversos niveles de organización.” (Bertalanffy, 1993, p. ix)

La concepción de los seres vivos como sistemas organizados es central en el modelo del sistema abierto. En este modelo los organismos se conciben como sistemas inmersos en un proceso de intercambio permanente con el ambiente. Esta consideración nace de pensar los procesos orgánicos como sistemas de producción de entropía negativa, es decir, como sistemas que evolucionan hacia estados más elevados de orden. En consecuencia, el concepto de organización en la TGS se relaciona con los mecanismos que permiten a los sistemas mantener estados estables, o incluso alcanzar niveles de orden más complejos, por medio de su interacción permanente con el exterior (Bertalanffy, 1993, pp. 38-45).

La definición de los sistemas como fenómenos creadores de un orden resultante de la profunda conexión entre el sistema y un medio ambiente dado, es inseparable de la noción de totalidad en la TGS. La definición de sistema implica pensar los fenómenos del mundo como complejos de

elementos en interacción mutua, como un todo integrado que “no puede aprehenderse por el estudio de sus partes tomadas aisladamente.” (Bertalanffy, 1993, p. 35). Rovaletti explica que a esta idea subyace el enfoque holístico de “la relacionabilidad en el contexto.” Se trata de una manera de concebir los fenómenos que implica que “toda abstracción de su contexto relacional se considera un error derivado de la causalidad explicativa lineal”. (Rovaletti, 1989, p. 46)

En relación con esta visión holística, la teoría de sistemas se interesa particularmente en fenómenos biológicos como la autorregulación homeostática y la auto-organización. Esto implica tomar en consideración nociones de teleología y directividad, que antiguamente, a falta de explicaciones para este tipo de fenómenos, quedaban relegadas al campo de lo metafísico y lo sobrenatural. En este sentido la TGS insiste sobre el hecho que el comportamiento teleológico no se sitúa por fuera de los límites de las ciencias naturales y que éste tipo de explicación no corresponde a una concepción antropomórfica de sus problemas de investigación. Se trata, por el contrario, de tipos de comportamiento que se pueden definir en términos científicos y para los cuales es posible precisar las condiciones y los mecanismos (Bertalanffy, 1993, pp. 43-45).

Fue en referencia a estos tres conceptos (organización, totalidad y teleología) que se estableció el programa de la *Society for general systems research*, colectivo que reunió junto a Bertalanffy, en el seno del *Centro de Estudios Avanzados de las Ciencias del Comportamiento* (Palo Alto), a figuras como el economista Kenneth E. Boulding, el bio-matemático Anatol Rapoport y el fisiólogo Ralph Gerard. Los objetivos del grupo³² se centraron en dos preocupaciones fundamentales: los isomorfismos entre diferentes problemas de investigación y la unidad de la ciencia.

4.4 los isomorfismos y la unidad de la ciencia

Respecto a la cuestión del isomorfismo, o la similitud estructural entre diferentes modelos, Bertalanffy afirma que, en oposición a una ciencia que tiende a especializarse cada vez más, “diversos problemas y conceptos similares se han desarrollado de manera independiente en campos que difieren sensiblemente.” (Bertalanffy, 1993, p. 29) Para Bertalanffy la existencia de estos paralelismos, al igual que el impacto del progreso tecnológico en las ciencias biológicas y

³² Bertalanffy resume en cuatro puntos los objetivos de la *Society for general systems research*: “1º buscar objetivos, leyes y modelos de la misma forma en diversos campos y ayudar al intercambio de un campo a otro; 2º promover el desarrollo de modelos teóricos adecuados en las ramas que no los tienen; 3º minimizar la multiplicación de esfuerzos teóricos en diversos campos; 4º promover la unidad de la ciencia mejorando las relaciones entre los especialistas.” (Bertalanffy, 1993, p. 14)

sociales, señalaba la necesidad de extender sus esquemas conceptuales para tener en cuenta sistemas de leyes en campos donde la aplicación de la física no era suficiente o posible.

Desde esta perspectiva la TGS sugiere la existencia de modelos, principios y leyes que podrían ser aplicados a diversos sistemas, independientemente de su naturaleza. Lo anterior resultaba suficiente para legitimar la propuesta de una teoría general cuyo objetivo era formular principios válidos para una variedad de fenómenos y extraer las consecuencias. En palabras de Bertalanffy, el objetivo de tal aproximación era buscar “los principios que se emplean para los sistemas en general sin preocuparse de su naturaleza, física, biológica o sociológica.” (Bertalanffy, 1993, p. 32) De esta manera la teoría de sistemas aspiraba a proveer modelos transferibles y utilizables por diversas disciplinas, partiendo de la premisa que diferentes fenómenos podían considerarse como complejos organizados.

Aquí aparece la cuestión de la unidad de la ciencia. Para Bertalanffy la idea de fundar una teoría interdisciplinar implicaba fundar una concepción unitaria del mundo basada en “los isomorfismos que existen entre los diversos campos.” (Bertalanffy, 1993, p. 47) Esta visión aspiraba a mejorar el intercambio entre diversas disciplinas y a reducir la multiplicación innecesaria de modelos en los diferentes campos disciplinares. Por esta misma vía debía llegarse a una concepción de la ciencia, opuesta a la del reduccionismo, que el autor llama “perspectivista”. No se trataba entonces de reducir los problemas de investigación en la biología, las ciencias del comportamiento y la sociología al nivel de las construcciones físicas, sino de encontrar esquemas y leyes al interior de cada uno de estos niveles.

En la actualidad no cabe duda que las aspiraciones de interdisciplinariedad y universalidad del modelo han sido ampliamente satisfechas. La TGS no solamente se ha constituido en un modelo ampliamente explorado en campos como la economía, la ecología, la informática, la lingüística, la teoría de organizaciones, la psicología, la ingeniería y la arquitectura, sino que el modelo ha dado paso a la consolidación de una visión del mundo, a una ontología de los sistemas que ha jugado un papel relevante en el pensamiento contemporáneo.

De hecho, junto con el pensamiento cibernético, la teoría de sistemas ha sido crucial para la consolidación de una visión del mundo como un conjunto complejo de sistemas dinámicos, auto-regulados e integrados. Tal es la visión que aparece representada en las ideas de pensadores como Erwin Laszlo y Edgar Morin.³³

³³ Laszlo es el más visible de los filósofos de los sistemas. Morin ha sido uno de los principales divulgadores del pensamiento cibernético en Europa.

4.5 El pensamiento sistémico

En el trabajo de Morin aparece el mismo distanciamiento frente al reduccionismo de la ciencia clásica y la consecuente crítica del pensamiento simplificador, que para el autor conlleva a dificultades como la imposibilidad de concebir la conjunción entre lo uno y lo múltiple, destruye los conjuntos y las totalidades y aísla los objetos del medio ambiente (Morin, 2005, pp. 19-20).

Morin atribuye a la teoría de sistemas la emergencia de un pensamiento complejo, de una concepción del mundo como un tejido de elementos heterogéneos e inseparables. Es principalmente en relación a esta idea que Morin se adscribe al modelo de pensamiento inaugurado por Bertalanffy. Así, la TGS es considerada como precursora de dos cuestiones que Morin ha promovido: la visión de las leyes de organización de los sistemas como un problema de desequilibrio compensado, o de dinamismo estabilizado, y, por otra parte, la idea que la inteligibilidad de un sistema debe buscarse en su relación con el medio ambiente.

Desde esta perspectiva se asume que un sistema solamente puede entenderse si se tiene en cuenta su medio ambiente, que es considerado como parte integrante del sistema a la vez que es considerado como exterior a éste. De este modo el medio ambiente en el que existe un sistema dado no es considerado solamente como un aspecto constitutivo de éste, sino que el sistema es considerado asimismo como parte constitutiva del medio ambiente. En palabras de Morin, “la realidad está desde entonces tanto en el vínculo como en la distinción entre el sistema...y su ambiente.” (Morin, 2005, p. 32)

Lo anterior implica para Morin una “mutación en el estatus ontológico del objeto”, producto de considerar ciertos fenómenos como sistemas auto-organizados y como entidades fenomenalmente individuales. Según esta concepción, un sistema, aunque tenga autonomía (o individualidad), está en estrecho contacto con su medio ambiente y por lo tanto no es separable de éste. Lo anterior equivale a decir que los objetos auto-regulados son el producto de una adecuación total entre la forma fenomenal, es decir el contexto, y sus principios internos de organización (Morin, 2005, p. 45).

Este cambio ontológico en la concepción del objeto se traduce en la búsqueda de modelos en los que sujeto y objeto estarían integrados. De este modo Morin encuentra la posibilidad de dar un sentido epistémico a la concepción sistémica de los fenómenos: “[é]sta nos indica que el objeto

debe ser concebido en su ecosistema y más ampliamente en un mundo abierto...y en un meta-sistema.” (Morin, 2005, p.65) De acuerdo con esta epistemología sistémica se considera que los límites entre un sistema y su medio ambiente se encuentran siempre en un lugar intermedio entre uno y otro, en el equilibrio, producto de su interacción, que se establece entre los dos y que es la condición de existencia de ambos.

Una visión similar ha sido explorada en la filosofía sistémica de Erwin Laszlo. Partiendo de la idea que los fenómenos naturales, en tanto que sistemas, son conjuntos de elementos organizados, el autor de *El sistemismo* emplea el concepto de sistema natural para referirse a todos los fenómenos que no deben su existencia a una planificación y a una ejecución conscientes, es decir, que muestran algún tipo de organización que no es producto de agentes externos al sistema mismo.

Para Laszlo la producción de teorías isomórficas, de conceptos paralelos en las ciencias naturales y sociales, permite formular una serie de leyes generales que se aplican a todos los sistemas, que el autor clasifica en tres categorías: sistemas infra-orgánicos, orgánicos y supra-orgánicos, o sea, fenómenos físicos, biológicos y sociales. Laszlo define cuatro constantes organizacionales que, basándose en la evidencia de diversos desarrollos recientes en diferentes campos de la ciencia, permiten al autor afirmar su validez universal.

En primer lugar, los sistemas naturales son considerados como totalidades que presentan propiedades irreductibles. Esta idea, insistentemente repetida en los escritos de Bertalanffy, corresponde a la concepción holística según la cual el comportamiento del todo es diferente al comportamiento individual de cada una de sus partes. Desde esta perspectiva se considera que el estudio de cualquier sistema debe tener en cuenta los problemas de organización y que estos no pueden reducirse al estudio independiente de sus componentes.³⁴ En el centro de esta reflexión también se encuentran las nociones de interacción y comunicación. Para Laszlo la interacción entre los diversos elementos de un sistema puede entenderse como un problema de comunicación, independientemente de que se trate de las interacciones entre un grupo de átomos, los procesos físico-químicos del organismo o la comunicación entre individuos en un grupo social (Laszlo, 1981, pp. 29-30).

³⁴ Como ejemplo, Laszlo propone el caso de la composición de los organismos a partir de las mismas sustancias. Así, el autor puede afirmar que “la diferencia entre César y el chimpancé no es en principio una diferencia de sustancia, sino de estructuración relacional de la sustancia.” (Laszlo, 1981, p.28). Para expresar lo mismo, usando esta vez como ejemplo las agrupaciones sociales, Laszlo plantea que, independientemente del tipo de asociación, su comprensión debe tener en cuenta las propiedades combinadas de numerosos individuos expresados en las propiedades particulares del grupo.

La segunda constante organizacional planteada por Laszlo define los sistemas naturales como formas de organización que se mantienen en un ambiente dinámico. Este principio equivale a decir que los sistemas no son estáticos, sino que tienden a desarrollarse, a evolucionar o a degradarse. De acuerdo con esta idea, la conservación de la organización, es decir, el estado estable de los organismos, se extiende a la naturaleza en general. O mejor dicho, a la naturaleza de la naturaleza, que es considerada como un gran mecanismo auto-regulador. Así, desde el átomo hasta los más complejos sistemas sociales coinciden en presentar igualmente mecanismos de ajuste, adaptación y mantenimiento de un estado estable (Laszlo, 1981, pp. 32-40).

La tercera constante planteada por Laszlo se refiere a la capacidad de los sistemas naturales de formarse a sí mismos como reacción al desafío del ambiente. Este punto se explica mediante el ejemplo hipotético de un grupo de objetos organizados que comparten un espacio. En el ejemplo de Laszlo, cada objeto en el espacio está abierto a las influencias de su medio ambiente y reacciona a ellas. De esta manera se establece un proceso de intercambio permanente en el que cada objeto influencia a todos los demás, sea directa o indirectamente. Puesto que cada uno de los elementos del sistema está en comunicación con el ambiente, “cada sistema provoca constantemente a los otros en la medida que él mismo reacciona a tales provocaciones.” (Laszlo, 1981, p. 42).

Las tres condiciones precedentes se relacionan directamente con varios aspectos centrales de la teoría de sistemas (interdependencia, complejidad, diferenciación y jerarquía), que definen la cuarta condición organizacional de los sistemas propuesta por Laszlo. En relación con estos factores, los sistemas naturales son concebidos como módulos de coordinación en la jerarquía de la naturaleza. Esta condición corresponde a la idea según la cual el universo es considerado como un complejo meta-sistema, constituido por la superposición de sistemas en una jerarquía continua que atraviesa las regiones de lo físico, lo biológico y lo social (Laszlo, 1981, p. 59) En este sentido cada sistema, aunque diferenciado, puede aparecer como elemento de otro sistema. En tanto que elemento, un sistema siempre juega un rol de interfaz, de componente que coordina la relación entre otras partes y funciones. El hombre, por ejemplo, visto en términos fisiológicos constituye un todo integrado, pero visto en términos sociológicos es una parte integrada del sistema social.

Apoyándose en estas cuatro condiciones, que para el autor constituyen el factor común de una diversidad de fenómenos, la filosofía sistémica de Laszlo promueve una ética ecológica resultante de la visión de la naturaleza como un sistema de organización compleja: “Fibras de orden tejen la jerarquía en formación adquiriendo un contorno cada vez más definido. Las características

comunes se encuentran bajo diferentes formas en cada uno de los diferentes niveles, con propiedades organizadas de un nivel al otro en una secuencia continua pero irreductible. La inteligencia sistémica de la naturaleza es una toma de armonía y de equilibrio dinámico. El progreso se inicia desde la base sin estar determinado desde la cima, y se descubre ser a la vez definido y abierto respecto a su fin. Para existir es necesario adaptarse. Si se trata de escoger un camino propio, hay libertad – pero se trata de una libertad contenida en los límites de su compatibilidad con la estructura dinámica del todo.” (Laszlo, 1981, p.66)

Las ideas de Morin y Laszlo resumen bastante bien la visión a partir de la cual se han concebido explicaciones sistémicas de diversos fenómenos; de la sociedad (Parsons, Luhman), de la economía (Hayek, Kelly) y del mundo en general (Odum). A esta concepción subyace una ontología cibernética que se percibe en prácticamente todos los postulados del pensamiento sistémico.

4.6 El pensamiento sistémico y la cibernética

La relación entre el pensamiento sistémico y la cibernética ha sido explorada desde diferentes perspectivas por diferentes autores. François Dosse, por ejemplo, plantea que la visión sistémica puede entenderse como una prolongación del estructuralismo. Según el autor, las dos corrientes de pensamiento comparten los mismos ideales de científicidad y de universalidad, además de compartir una visión holística del mundo y un interés particular por la interdisciplinaridad. Según Dosse, la cibernética constituye el vínculo que permite establecer la relación entre los dos modelos, señalando que la cibernética jugó un rol importante en el desarrollo de ambos (Dosse, 1995, pp. 492-494).

Morin comparte el punto de Dosse respecto a las aspiraciones de universalidad, holismo e interdisciplinaridad de los dos modelos, señalando además que el pensamiento sistémico comparte con la cibernética los mismos “aspectos fecundos”. El autor se refiere concretamente al empleo del concepto de máquina en la categorización de los sistemas organizados (Morin, 2005, pp. 28-29).

Céline Lafontaine sugiere que la visión sistémica – puesto que se interesa particularmente en la organización de los sistemas, independientemente de su naturaleza, y en una visión de la vida en términos de complejidad – se inscribe en la constelación de disciplinas en cuyo centro se encuentran la biología, las ciencias de la comunicación y las ciencias cognitivas. Así, para la autora de *L’empire Cybérnetique* es posible afirmar, sobre la base de esta reorientación disciplinaria, que

“la influencia de la cibernética se afirma más concretamente con el pensamiento sistémico”³⁵ y que lo anterior aparece de manera evidente en las teorías de la auto-organización que definen lo que se conoce como cibernética de segundo orden (Lafontaine, 2004, p. 118). Lo anterior aparece más claramente si se piensa, por ejemplo, en la conexión entre el trabajo del cibernético William Ross Ashby y el trabajo de algunos de los más notables teóricos de la auto-organización, entre Humberto Maturana y Francisco Varela.³⁶

En realidad, las coincidencias entre la cibernética y la teoría de sistemas son tantas que incluso ha habido una tendencia a considerar los dos modelos como un mismo campo (Umpleby & Dent, 1999, p. 80). Aunque el pensamiento sistémico ha desarrollado sus propios conceptos, y se ha centrado especialmente en la creación de un modelo aplicable al estudio de una amplia variedad de fenómenos,³⁷ varios aspectos dan sustento al punto señalado por Umpleby y Dent.

Bertalanffy es el primero en reconocer la estrecha correspondencia entre la cibernética y su teoría. De hecho, una mirada rápida a sus referencias bibliográficas parece suficiente para entender la enorme influencia cibernética en la *Teoría General de Sistemas*. Entre los autores citados aparecen Ashby, Beer, von Foerster, Gray, Kubie, MacCulloch, von Neumann, Shannon, Weaver y Wiener. Es decir la mayoría de los participantes más destacados de las conferencias de Macy y otros, como Cannon y Turing que, aunque no participaron directamente en el desarrollo de la cibernética, tienen vínculos muy cercanos con ésta.

Para enfatizar esta correspondencia Bertalanffy hace referencia, en su introducción a la TGS, a una conferencia ofrecida por Lawrence K. Frank, donde el cibernético señala el carácter fructífero de las metodologías cibernéticas para “el estudio de procesos auto-regulados, de los sistemas y de los organismos auto-dirigidos.” (Citado en Bertalanffy, 1993, p.15)

³⁵ Este punto es importante porque ayuda a comprender dos cuestiones cruciales aquí abordadas. Por una parte, permite entender por qué los modelos sistémicos parecen directamente extraídos de la teoría cibernética. Por otra parte, el argumento de Lafontaine también permite pensar la conexión entre la cibernética, la teoría de sistemas y el pensamiento de la complejidad, tema abordado en el capítulo 6.

³⁶ Ashby es el autor de un influyente artículo titulado *Principles of the Self Organizing System* donde se definen los organismos y las máquinas en términos de la comunicación entre las partes que conforman un todo. Este mismo tipo de caracterización ha sido empleado por Maturana y Varela, quienes en referencia a la lógica de causalidad cibernética, promovieron una concepción del organismo como un mecanismo auto-organizado que mantiene un vínculo directo con la descripción del sistema abierto de Bertalanffy.

³⁷ Morin plantea en este sentido que el campo de la teoría de sistemas es mucho más amplio que el de la cibernética, en la medida que la visión sistémica puede extenderse a todo los fenómenos conocibles (Morin, 2005, p.28-29).

Tal reconocimiento aparece con mayor claridad en las notas sobre el desarrollo de la teoría matemática de sistemas, donde Bertalanffy define los sistemas en los mismos términos empleados por Wiener para el estudio de los servomecanismos. De esta manera un sistema es concebido como una “caja negra” y sus relaciones con el ambiente son consideradas en términos del modelo propuesto por la teoría de la comunicación (Bertalanffy, 1993, p.90-91).

Este es el principio que subyace al concepto de sistema abierto, modelo que, como ya se mencionó antes, se inspiró en las categorías propuestas por la cibernética para el estudio comparativo del funcionamiento de los organismos y las máquinas. Este aspecto en particular permite observar el estrecho vínculo entre la TGS y los discursos de la información.

En referencia a su conceptualización del organismo, Bertalanffy afirma que, desde los inicios de la ciencia moderna, el modelo de la máquina ha servido como esquema conceptual para explicar la noción de orden en los sistemas vivos; o sea, los procesos químicos y físicos “ordenados” que permiten a un organismo crecer, desarrollarse, reproducirse, etc. Añade el autor que el tipo de explicación mecánica ha correspondido al tipo de máquinas propias de cada época. Así, el organismo ha sido considerado como el producto de una relojería compleja o, en el caso de la cibernética, como un servomecanismo (Bertalanffy, 1993, pp. 143-144).

Este es en gran medida el modelo adoptado por Bertalanffy. En concordancia con la concepción cibernética de los organismos, la teoría del sistema abierto se basa en una descripción de los sistemas vivos como un tipo de organización que mantiene sus propiedades mediante el intercambio permanente entre sus componentes. Aunque la descripción del organismo como un sistema abierto hace particular énfasis en el carácter auto-organizado de los seres vivos (en este sentido Bertalanffy concibe los sistemas orgánicos como máquinas compuestas de combustible que se consumen y se regeneran a sí mismas)³⁸, el modelo del sistema abierto se basa fundamentalmente en el paradigma de causalidad cibernético.

³⁸ Para Morin esto implica “una relación nueva respecto a la entropía, es decir, una aptitud, aunque sea temporal, a crear entropía negativa a partir de la entropía misma; una lógica mucho más compleja y sin duda diferente de la de toda máquina artificial. En fin, ligado indisolublemente a los...rasgos que acabamos de enunciar, está el fenómeno de la *auto-organización*.” (Morin, 2005, p. 41) En este sentido la teoría del sistema abierto se acerca particularmente de los desarrollos de la cibernética de segundo orden. Por ejemplo, referencia a la cuestión de la auto-organización mencionada por Morin, cabe recordar un pasaje de Bertalanffy que obliga a pensar en el trabajo de von Foerster, Maturana y Varela. Bertalanffy argumenta que si, de acuerdo a su descripción, se considera el organismo como una máquina, ésta “se encuentra localizada al interior de un flujo ordenado de procesos. El orden primero debe entonces encontrarse dentro del proceso mismo.” (Bertalanffy, 1993, p.145)

De esta manera, los sistemas físicos y vivos son considerados como fenómenos cuya existencia depende de una alimentación (material-energética y organizacional-informacional) exterior (Morin, 2005, p. 30). En consecuencia un sistema abierto es concebido como un fenómeno que no conoce un estado de equilibrio químico y termodinámico, sino que se mantiene en un estado estable. Teniendo en cuenta la definición de la entropía como el estado más probable (o sea, de máxima desorganización) en un sistema cerrado, el estado estable de los sistemas abiertos aparece como el aspecto característico de su capacidad para mantenerse en un estado muy ordenado, o incluso de evolucionar hacia una mayor diferenciación y organización (Bertalanffy, 1993, pp. 145-148).

Junto a esta referencia al concepto cibernético de entropía, el modelo del sistema abierto también se construye en base a las nociones de retroalimentación e información. Aunque el modelo cibernético es empleado por Bertalanffy especialmente para caracterizar el intercambio de materia y energía en los sistemas vivos, el concepto de información (o entropía negativa) le resulta indispensable para describir conceptos centrales como orden y organización. De la misma manera, aunque en el modelo del sistema abierto los mecanismos de regulación de tipo *feedback* solamente representan cierto tipo de regulación orgánica, en la teoría de sistemas el concepto de retroalimentación juega un rol central. Definido por Bertalanffy como la retransmisión de la información que hace que un sistema sea auto-regulado, o como el mecanismo que garantiza la estabilidad y la dirección de la acción, el concepto de retroalimentación cibernético es retomado en el modelo del sistema abierto para la descripción de diversos fenómenos biológicos.³⁹

Antes se mencionó que dos aspectos cruciales de la TGS se desprenden de la caracterización de los organismos como sistemas abiertos y auto-regulados: la consideración de los problemas de organización como el resultado del equilibrio que se establece entre un sistema y su medio ambiente, y la consecuente comprensión de los sistemas como fenómenos indisociables de su contexto. En este sentido, los conceptos de totalidad, organización e integración, centrales en el pensamiento sistémico, aparecen íntimamente relacionados con las nociones cibernéticas de homeostasis, regulación y entropía.

Estos pocos ejemplos parecen suficientes para señalar el estrecho vínculo entre el pensamiento de sistemas y la teoría cibernética, un modelo a partir del cual las cosas en el mundo dejaron de pensarse como fenómenos individuales, para ser pensadas como complejos procesos auto-regulados que implican una profunda integración entre un sistema y su contexto.

³⁹ Bertalanffy se refiere en este sentido a los trabajos sobre la homeostasis de Bernard y Cannon, que se encuentran en el origen de la noción cibernética de auto-regulación tal como es expuesta por Wiener.

En relación con lo expuesto en las páginas precedentes se entiende de qué manera algunas de las ideas dominantes en el campo del diseño computacional – por ejemplo la idea de pensar el diseño desde una lógica relacional, donde los objetos arquitectónicos son pensados como sistemas integrados y en interacción con el medio ambiente – son una herencia de las narrativas cibernéticas que se encuentran en el centro de la lógica de sistemas teorizada por Bertalanffy.

4.7 La arquitectura y el pensamiento sistémico

Un sistema, de acuerdo con la definición propuesta por Herbert Simon en *The Sciences of the Artificial*, es una jerarquía compuesta por varios subsistemas, cada uno de los cuales puede tener sus propias jerarquías; Simon también define un sistema como una colección de partes con relaciones asimétricas organizadas dentro de un todo (Simon, 1996). Esta descripción, que coincide con las definiciones de sistema propuestas por algunos de los autores citados arriba, como Bertalanffy y Laszlo, es representativa de una visión que redefine el estatus de las cosas en el mundo, a partir de la cual diversos fenómenos (físicos, biológicos y sociales) han sido considerados como totalidades organizadas.

Esta manera de concebir los fenómenos ha sido una de las cuestiones centrales alrededor de las cuales se ha construido la perspectiva computacional en la profesión. Como se vio en el capítulo precedente, la concepción de los problemas de diseño desde una perspectiva holística ha sido uno de los problemas fundamentales planteados por la definición de la arquitectura como un fenómeno *performativo*. Por lo tanto, la construcción sistémica de los problemas de la arquitectura se ha encontrado en el centro de las elaboraciones de la arquitectura computacional desde sus primeras experiencias (Fig. 1).

Esta manera de concebir los problemas de diseño ha sido a tal punto explorada en las investigaciones de la arquitectura computacional, que algunos profesionales y críticos la han considerado como una especie de doctrina, o movimiento, que ha dirigido una buena parte de la producción digital de la arquitectura en los últimos años.

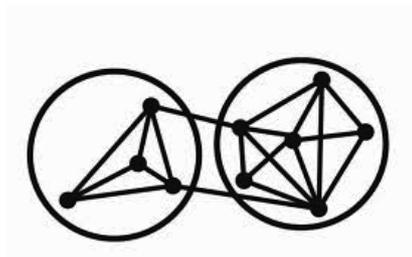
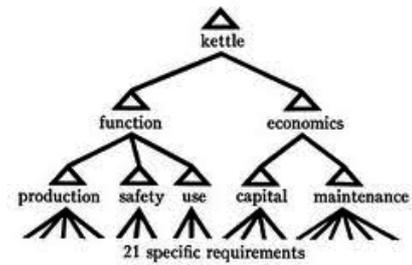


Figura 1

Estas dos imágenes corresponden a la representación, propuesta por Christopher Alexander, de la concepción de los problemas de diseño como sistemas definidos por la integración de diferentes elementos y condiciones. Según la visión promovida por Alexander, la correcta solución de un problema de diseño exige la comprensión de estos factores y su correcta adecuación en función de los requisitos del programa. Fuente: *Notes on the Synthesis of Form*, 1986. C. Alexander.

Al respecto, Neuman y Grobman señalan la existencia de una tendencia que ellos definen como “*performalismo*”. Se trata, según los autores, de una nueva forma de la vanguardia en la profesión, que constituye el foco del trabajo de muchos arquitectos digitales. Más que un estilo, esta tendencia consistiría en un cambio de paradigma en las elaboraciones de la arquitectura. Se trata, según los autores, de un cambio orientado a concebir los objetos arquitectónicos como el producto de un proceso dinámico, como el resultado de la combinación de diversos aspectos (empíricos, cognitivos y perceptivos) que definen los problemas de “forma y función, objeto y sujeto, espacio y cuerpo, percepción y cognición, política e ideología” en la producción arquitectónica contemporánea (Neuman & Grobman, 2012, p. 4).

Una idea similar ha sido expuesta por Patrick Schumacher, quien, a través su teoría del “*parametricismo*”, ha pretendido situarse como el principal teórico y promotor de la concepción sistémica de la arquitectura. En referencia a las ideas expuestas por autores como Niklas Luhman, en el campo de la sociología, y Humberto Maturana y Francisco Varela, en el campo de las ciencias naturales, Schumacher ha planteado una visión de la profesión que parte de la idea que “los elementos...de la arquitectura se han convertido paraméricamente maleables y permanecen dinámicamente integrados en redes de dependencia, incluyendo los múltiples aspectos del contexto; todos los subsistemas son internamente diferenciados y se correlacionan con (todos) los otros subsistemas.” (Schumacher, 2012)

Parafraseando a los teóricos de los sistemas, el autor del manifiesto *parametricista* afirma que “[t]odo debe resonar con todo lo demás. Esto debería dar lugar a una intensificación de las relaciones en el campo urbano con una densidad *performativa*, la riqueza de información, y la coherencia

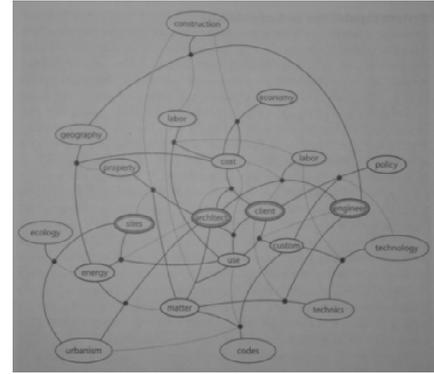


Figura 2

Lo anterior aparece representado en este “diagrama catalítico” que, como en los diagramas de Alexander, muestra la misma concepción de los problemas de diseño como un sistema de aspectos interconectados. Se trata de una visión que define un problema arquitectónico como “una relación en red de fuerzas y factores” que afectan a los arquitectos, el trabajo de la arquitectura y las producciones arquitectónicas. Fuente: *Building Systems*, 2012. K. Moe & R. Smith (Eds).

cognitiva que permite una navegación rápida y una efectiva participación en un escenario social complejo.” (Schumacher, 2012) En consecuencia, para Schumacher, desde una perspectiva sistémica, las organizaciones arquitectónicas aparecen como el resultado emergente de su auto-organización y de la interacción de múltiples elementos.

Los ejemplos anteriores constituyen una muestra de cómo, desde una perspectiva sistémica, la arquitectura ha sido pensada como un fenómeno dinámico, como un problema de relaciones entre múltiples elementos y como un fenómeno emergente, mientras que su producción es concebida como un proceso que puede ser dirigido por la manipulación de flujos de información.

A estas caracterizaciones de los objetos arquitectónicos subyace la visión de los fenómenos en el mundo como sistemas abiertos, es decir, como sistemas que de manera permanente intercambian información, materia y energía con su entorno para alcanzar un estado de equilibrio.

En términos de la producción de la arquitectura, este paradigma de causalidad se ha traducido en una aproximación al diseño basada en una lógica relacional. Consecuentemente, las metodologías de concepción desarrolladas aspiran a incorporar todos los factores, actores y fuerzas que participan en la producción de una realidad arquitectónica o urbana (Fig. 2). Como lo plantean Kiel Moe y Ryan E. Smith, una aproximación sistémica en la arquitectura implica determinar las partes de un proyecto, sus conexiones y sus redes de acción dentro de un marco que responde a cuestiones de función, escala, alcance, jerarquía, *inputs*, *outputs* y grados de equilibrio dinámico (Moe & Smith, 2012, pp. 4-9).

Al respecto, el crítico Sanford Kwinter ha argumentado que, desde esta perspectiva, los objetos arquitectónicos y urbanos han dejado de ser pensados como unidades individuales, para ser concebidos como un conjunto de relaciones entre los elementos de un sistema. Para Kwinter esto implica que “el objeto – sea éste un edificio, un sitio compuesto, o toda una matriz urbana, mientras tales unidades continúen existiendo en términos funcionales – ya no sería definido por su apariencia, sino por prácticas: las que comparte y las que tienen lugar dentro de éste. En esta redefinición, la unicidad del objeto se desvanecería necesariamente – desviándose hacia un campo único pero articulado doblemente (las relaciones, por definición, nunca corresponden a los objetos).” (Kwinter, 2001, p. 14)

Lo que resulta de la redefinición a la que se refiere Kwinter, es una visión de los hechos arquitectónicos y urbanos según la cual éstos aparecen representados tanto por las relaciones que son más pequeñas que el objeto (o internas a él), como por las relaciones o sistemas que son más grandes que éste, y de las cuales el hecho arquitectónico, o urbano, sólo sería una parte. Kwinter se refiere a estos dos estados como micro-arquitecturas y macro-arquitecturas, lo cual no es otra cosa que la traducción a un lenguaje arquitectónico de la concepción holística del pensamiento de sistemas; o sea, la idea según la cual los sistemas pueden ser, simultáneamente, conjuntos constituidos por sub-sistemas y/o parte componente de meta-sistemas más grandes que los contienen.

4.8 La visión holística

La elaboración de los problemas de diseño desde esta perspectiva se ha desarrollado alrededor de tres conceptos centrales en el pensamiento sistémico: acción, totalidad e integración. Concebidos como totalidades organizadas, los objetos arquitectónicos han sido pensados como entidades dinámicas y altamente integradas con el contexto, donde los límites entre la arquitectura y los múltiples factores que participan en su consolidación se vuelven difusos (Fig. 3).

El resultado más evidente de la re-elaboración de la arquitectura alrededor de estas nociones ha sido replantear el carácter estático de los objetos arquitectónicos. En base a la concepción sistémica, los

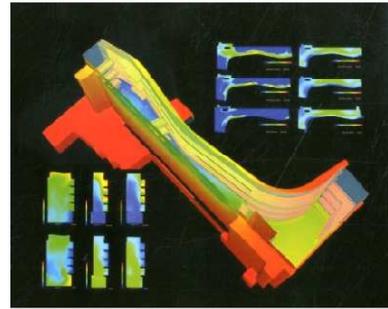


Figura 3

Esta característica de la concepción sistémica de la arquitectura aparece claramente en la representación de los proyectos, donde una serie de aspectos externos al objeto arquitectónico suelen ser presentados como factores protagónicos en la definición de la forma arquitectónica. Fuente: Performative Architecture, 2005. B. Kolarevic & A.M. Malkawi (Eds).



Figura 4

En el proyecto de Peter Eisenman para una biblioteca en Hamburgo, el diseño se estructura de acuerdo con las fuerzas presentes en el contexto. De este modo la forma arquitectónica es concebida como registro del paso del tiempo y arqueología de la ciudad. Lo anterior mediante el mapeo de la organización estructural de dos iglesias aledañas sobre el sitio de implantación del proyecto. Fuente: Performalism. Form and Performance in digital Architecture, 2012. Y.J. Grobman & E. Neuman (Eds).

hechos arquitectónicos han dejado de ser concebidos de este modo para ser pensados como artefactos dinámicos.

La caracterización de la arquitectura como un fenómeno dinámico ha sido explorada de diversas maneras. Entre estas sobresalen las construcciones de los objetos arquitectónicos en las que estos son definidos en función de lo que hacen. Esto incluye su elaboración como artefactos de mediación o modificación del ambiente, como un momento en un flujo geométrico, como el resultado formal de un proceso sometido a un intercambio de fuerzas, o como un mecanismo homeostático – que debe ajustar su comportamiento de manera permanente con el fin de mantener un estado de equilibrio en relación con un contexto cambiante (Figs. 4-6).

La concepción de la arquitectura como un artefacto dinámico, o del diseño arquitectónico como un proceso, ha sido inseparable de la concepción de la arquitectura como un problema de interacción y totalidad. Invariablemente, esta manera de representar los problemas de la arquitectura implica establecer conexiones entre varios factores, y una concepción del hecho arquitectónico como una realidad emergente.

En el pensamiento sistémico la idea de totalidad se ha asociado con la concepción de los sistemas como fenómenos que son diferentes a la suma de sus partes, o sea, como todos integrados que no pueden comprenderse mediante el análisis individual de los elementos que los componen. Trasladada a los problemas de la arquitectura, la visión holística se ha reflejado en diferentes modelos de diseño, tecnológicamente mediados, donde los edificios han sido pensados como el producto de las dinámicas complejas

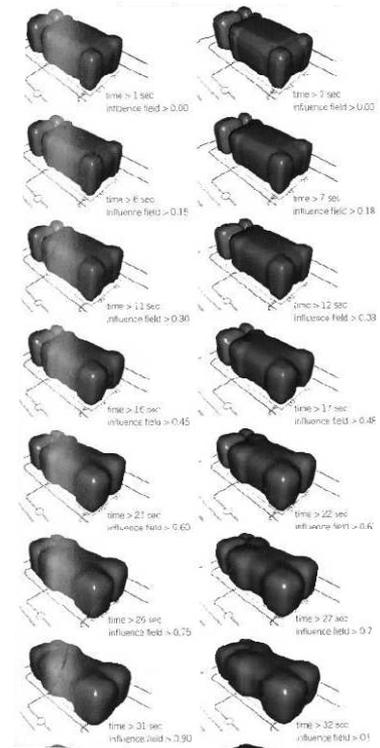


Figura 5

El proyecto Iso-Morph, de Open Source Architecture, es un ejemplo típico de la exploración del diseño como un proceso. En este sentido el diseño no se concibe como definición de la forma, sino como un proceso de formación en el que el edificio es pensado como un sistema dinámico que reacciona a estímulos, y la forma arquitectónica como “output” de los parámetros incluidos en el sistema. Fuente: Softspace, 2007. S. Lally & J. Young (Eds).

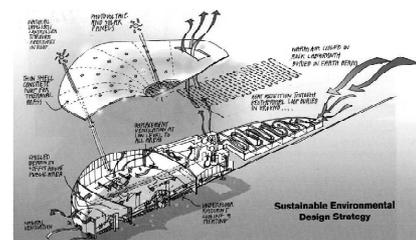


Figura 6

La representación del proyecto como un mecanismo que responde a las condiciones de un contexto, es el mejor ejemplo de la consideración del objeto arquitectónico como una suerte de sistema homeostático, como un sistema que que establece alguna forma de equilibrio con el medio ambiente. Fuente: Performalism. Form and Performance in digital Architecture, 2012. Y.J. Grobman & E. Neuman.

– que envuelven factores materiales, constructivos, sociales y ambientales – que definen una situación de habitación.

Diversos profesionales vinculados a la producción digital de la arquitectura han señalado de qué manera estas consideraciones se reflejan en sus exploraciones.

4.9 Arquitecturas sistémicas

El trabajo teórico y experimental de Michael Hensel, por ejemplo, constituye un caso paradigmático de la concepción sistémica de los problemas disciplinares de la arquitectura. Para Hensel la visión sistémica de los problemas de la arquitectura aparece como el origen del cambio en la concepción de la “organización material y espacial como una configuración estática que solamente define un objeto”, dando paso a su comprensión como “procesos intrincados de interacción y las capacidades y transformaciones que surgen de estas interacciones.” (Hensel, 2012, p. 43) Para Hensel lo anterior se relaciona con la indivisibilidad de los aspectos formales y funcionales de la arquitectura (Fig. 7); es decir con la interacción de cuatro dominios de acción: sujeto, ambiente y el complejo organizacional constituido por la materia y el espacio (Hensel, 2012, p.43)

Esta descripción de los problemas de diseño, que remite a las nociones de totalidad e integración, aparece claramente representada en un modelo

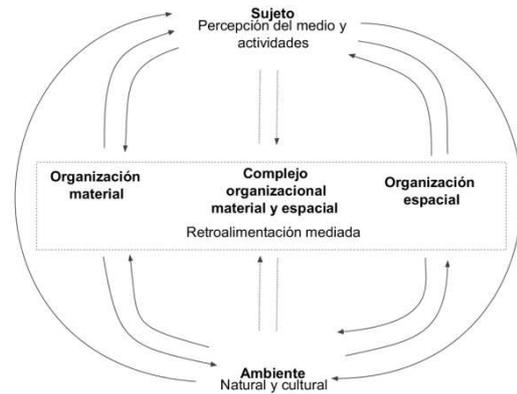


Figura 7

Hensel presenta mediante este diagrama su concepción del hecho arquitectónico como un sistema de retroalimentación, compuesto no solamente por los aspectos materiales y espaciales de la arquitectura, sino por otros factores que incluyen el medio ambiente y los usuarios. Adaptado de: *Performatism. Form and Performance in digital Architecture*, 2012. Y.J. Grobman & E. Neuman (Eds).

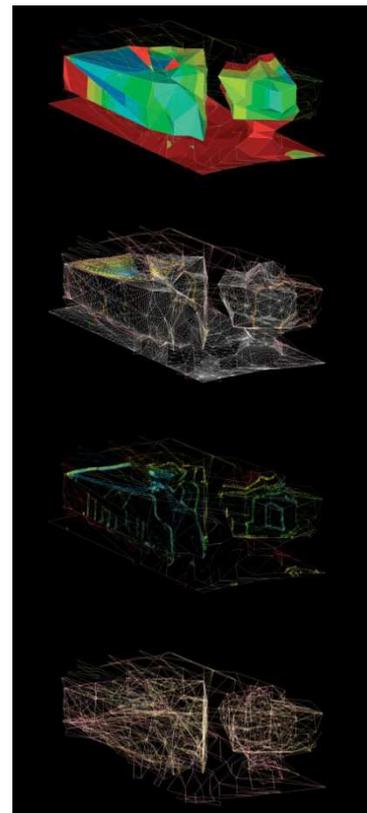


Figura 8

Figura 8. El modelo multiperformativo de Hensel y Menges plantea una concepción ecológica de la arquitectura que “promueve la diferenciación de las condiciones ambientales a través de una inteligencia morfológica”, que permite conectar el comportamiento de los sistemas materiales con la modulación del ambiente. Fuente: AD, 2006. Vol.76 (2).

“*multi-perforativo*” explorado por Hensel en colaboración con Achim Menges (Fig 8). Inspirado en algunas de las ideas expuestas en el célebre ensayo de Reyner Banham, *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, este modelo constituye una aproximación al diseño que tiene en cuenta las relaciones variadas y dinámicas entre los sistemas materiales, las condiciones ambientales y el uso (Hensel & Menges, 2006, p. 63). La misma idea es explorada por Hensel y Menges cuando se refieren a su modelo morfo-ecológico de diseño como una búsqueda orientada hacia el alto nivel de integración entre los sistemas constructivos, los aspectos materiales y los fenómenos ambientales que configuran el espacio y la forma arquitectónica (Hensel & Menges, 2008a, pp. 102-111)

En términos similares, Mahadev Raman ha descrito las prácticas contemporáneas de diseño sostenible no solamente como un problema ligado al consumo de recursos naturales, sino como el correcto balance entre preocupaciones sociales, ambientales y económicas. Desde este punto de vista, un proceso de diseño es considerado exitoso en la medida que la arquitectura, la estructura y los diversos sistemas constructivos actúan como un todo integrado (Raman, 2005, p. 43).

William Braham promueve una postura análoga cuando sostiene que, desde una perspectiva holística, los diferentes sistemas constructivos deben dejar de ser considerados como artefactos optimizados para cumplir funciones específicas, para ser concebidos como sistemas complejos⁴⁰ que operan globalmente, y de manera simultánea, tanto en los edificios como en los habitantes (Braham, 2005, p. 67).

La misma cuestión se encuentra en el centro del trabajo desarrollado por Ali Rahim, quien considera que “[e]l deseo de estudiar el comportamiento de la materia en su complejidad, trae consigo un ordenamiento del mundo donde los sistemas son entendidos como entidades entrecruzadas y en un estado constante de flujo.” (Rahim, 2005, p. 82).

Los ejemplos precedentes son sólo una pequeña muestra de cómo, desde la perspectiva holística, propia del pensamiento de sistemas, diferentes prácticas involucradas en la producción digital de la arquitectura han coincidido en la construcción de visiones de los hechos arquitectónicos como ecologías, como el resultado de un proceso complejo de interacción, como artefactos de mediación entre diversos factores, como substrato y catalizador de relaciones, o como el resultado de entidades intrincadas y en permanente movimiento.

⁴⁰ En el capítulo 6 se analizará en detalle la caracterización de la arquitectura como un fenómeno complejo, que se desprende de la comprensión de los problemas de la arquitectura como sistemas.

En este punto es interesante señalar de qué modo estas caracterizaciones mantienen un vínculo con dos aspectos cruciales, y estrechamente relacionados, que han marcado muchas elaboraciones computacionales de la arquitectura. Se trata de la consideración de los procesos de formación de la arquitectura como fenómenos autónomos, y de la correspondiente caracterización de la arquitectura en referencia a analogías orgánicas.

4.10 La autonomía de la arquitectura

Las aproximaciones sistémicas al diseño, donde los objetos arquitectónicos y los métodos de proyectación desarrollados han sido construidos como fenómenos emergentes – como mecanismos que surgen de las condiciones variables de un contexto dado – han reforzado una cuestión que ha ocupado un lugar fundamental en la producción computacional de la arquitectura. Se trata de la consideración de la independencia del hecho arquitectónico frente a un sistema de valores preestablecidos, sean estos valores relacionados con cuestiones de estilo, técnica o ideología.

En palabras de David Leatherbarrow “[c]uando el edificio es liberado de intencionalidades estéticas y tecnológicas, descubrimos sus conexiones laterales con un medio social y ambiental, que no es el producto de nadie, aun menos del diseño y la planeación...El punto a ser considerado es la excentricidad del edificio, su

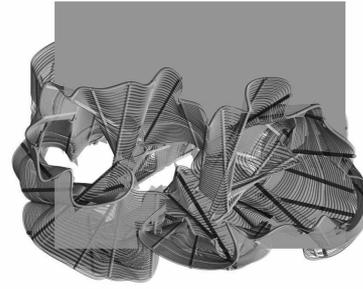


Figura 9

La delegación a la máquina, promovida por Kostas Terzedis y otros, ha sido una de los temas ampliamente explorados en las producciones computacionales de la arquitectura. Esta lógica de producción ha servido de soporte para diferentes prácticas que han promovido una visión de la arquitectura como un hecho que no necesita otra justificación que su performance. Fuente: Digital Culture in Architecture, 2010. A. Picon.

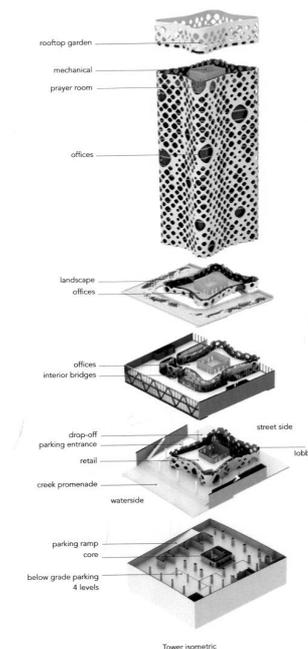


Figura 10

Reiser y Umemoto han descrito su trabajo en referencia a dos aspectos que se desprenden del principio que la arquitectura es “la práctica material por excelencia”. Lo anterior concierne “la generación de la arquitectura dentro de la dinámica de un campo material” y su expresión, “el performance de sus efectos y la política de su percepción”. Performalism. Form and Performance in digital Architecture, 2012. Y.J. Grobman & E. Neuman (Eds).

existencia por fuera de si mismo". (Leatherbarrow, 2005, p. 16)

El argumento sobre la autonomía de la arquitectura expuesto por Leatherbarrow señala dos puntos esenciales que han sido explorados por diversas prácticas de diseño computacional, y que mantienen un vínculo profundo tanto con la pragmática como con la ontología informacional.

Se trata, en primer lugar, de un asunto sobre el cual aquí se ha insistido. A saber, la consideración de la existencia del edificio como la materialización de una red de intercambios entre diferentes factores que incluyen múltiples variables externas al objeto arquitectónico. En este sentido la pragmática computacional, que permite generar procesos autónomos de diseño – la delegación a la máquina teorizada por Lynn – ha sido un factor esencial, que ha permitido pensar en la autonomía de la arquitectura como su independencia frente a cualquier tipo de determinismo establecido por el diseñador. Esta ontología y pragmática del diseño ha reforzado una concepción del hecho arquitectónico como algo que se explica solamente en términos de su *performatividad*, independientemente de cualquier canon establecido. Picon plantea que de este modo "[e]n vez de relacionarse con un conjunto de valores e imágenes que no hacen parte del del objeto diseñado y/o construido, la arquitectura debe justificarse a si misma a través de lo que su mera presencia produce" (Picon, 2012, p. 17)

Este paradigma ha sido en gran medida el principio rector del trabajo de arquitectos como Peter Eisenman y otras figuras influyentes en el desarrollo de la arquitectura digital como Greg Lynn y Kostas Terzedis (Fig. 9).

Un claro ejemplo de cómo estas cuestiones aparecen representadas en la producción digital de la arquitectura se encuentra en el trabajo de Jesse Reisser y Nanako Umemoto (Fig. 10), quienes han explorado una visión de la arquitectura como un sistema que se genera dentro de la dinámica de un campo material y que se expresa como efecto (Reiser & Umemoto, 2012, p. 171).

La misma cuestión ha sido expresada por Patrick Schumacher a través de un discurso que toma prestados sus conceptos centrales a las ciencias biológicas. Las nociones de "apertura por medio del cierre" y autopoiesis – centrales en la concepción del organismo desarrollada por Maturana y Varela – ha sido empleada por Schumacher para promover, en relación con su concepción sistémica del diseño, su visión de la autonomía de la arquitectura.⁴¹ De esta manera Schumacher

⁴¹ Schumacher plantea que "[l]a autonomía de la arquitectura significa autodeterminación en el discurso. Ni filósofos, científicos, políticos o clientes pueden gobernarla. La disciplina es autónoma en su esfuerzo por mantenerse relevante y productiva; pero al mismo tiempo, para sobrevivir, debe permanecer relevante y productiva para la sociedad. Esto es lo que Luhmann llama «apertura por medio del cierre»...La disciplina tiene que observar e interpretar su medio ambiente

ha argumentado que para ser relevante y productiva para la sociedad, la arquitectura debe interpretar y responder con sus propios términos a su medio ambiente social (Flores, 2011).

Aunque en este caso concreto, Schumacher se ha servido de estos conceptos biológicos para referirse a la autonomía de la arquitectura estrictamente en términos del desarrollo de una teoría del diseño propia a la disciplina, la construcción de su discurso en referencia a nociones heredadas de las ciencias biológicas no es un hecho fortuito, ni aislado. El empleo de nociones importadas de las ciencias biológicas para señalar los cambios en las elaboraciones de la profesión propios de la perspectiva computacional, es uno de los factores relevantes y recurrentes en este campo. Se trata de un aspecto de las producciones digitales de la arquitectura que, al igual que la visión holística, mantiene un vínculo cercano con el pensamiento cibernético.

Aunque el desarrollo de analogías orgánicas no ha sido un aspecto exclusivo de las exploraciones de la arquitectura computacional – el empleo de metáforas de este tipo ha sido una constante en la historia de la arquitectura occidental⁴² – este ha sido el factor fundamental que ha dirigido algunas de sus expresiones más influyentes. A esta manera de caracterizar los problemas de la arquitectura subyace un aspecto que ha obsesionado a muchos arquitectos digitales, a saber, la aspiración de producir arquitecturas capaces de exhibir el carácter autónomo de los seres vivos. Como se verá a continuación, en la emergencia de estos imaginarios el influjo del pensamiento sistémico ha sido un factor esencial.

4.11 Analogías orgánicas

La proliferación de metáforas biológicas en las prácticas de diseño digital puede explicarse por el simple hecho que la visión sistémica, ideología dominante de la perspectiva computacional en la arquitectura, emana de la comparación entre los organismos y los servomecanismos, artefactos que en el pensamiento de cibernéticos como Wiener y Ashby son concebidos como mecanismos análogos en su funcionamiento a los seres vivos. Por lo tanto es posible argumentar que por esta vía, la concepción sistémica de los problemas de diseño se ha asociado directamente con la

social para responder pertinentemente con sus propios términos. La abstracción autorreferencial de la Autopoiesis, es una condición preexistente para respuestas más sofisticadas y productivas a los desafíos de la sociedad.” (Flores, 2011)

⁴² Véase al respecto el trabajo de Philip Steadman: *The Evolution of designs: Biological Analogy in Architecture and the Applied Arts*.

construcción de analogías biológicas para caracterizarlos, más concretamente, con la emergencia de un imaginario en el que los hechos arquitectónicos han sido pensados como artefactos con propiedades similares a las que, desde la perspectiva cibernética, caracterizan a los organismos.⁴³

Aaron Sprecher da sustento a esta idea cuando sostiene que el desarrollo de la cibernética, con su énfasis en la naturaleza comunicativa de organismos y máquinas, dio paso a diferentes elaboraciones en las que el objeto arquitectónico comenzó a ser pensado como una especie de sistema natural (Sprecher, 2012, p. 27).

En las elaboraciones de la arquitectura computacional, a partir de la concepción comunicacional de los objetos arquitectónicos, diferentes prácticas han desarrollado una variedad de enfoques de los problemas disciplinares que, en referencia a conceptos como homeostasis, emergencia, auto-organización, adaptación y evolución, han explorado una visión bio-inspirada de la arquitectura.

Todos estos conceptos mantienen un estrecho vínculo con el pensamiento cibernético; el concepto de homeóstasis fue desarrollado por el fisiólogo francés Claude Bernard, y fue una referencia crucial en el trabajo de Wiener sobre los sistemas de retroalimentación. Las nociones de emergencia y auto-organización son los conceptos centrales alrededor de los cuales se ha estructurado el pensamiento de la complejidad, un modelo científico que, bajo el influjo del paradigma cibernético, ha explicado diversos fenómenos naturales como sistemas que dependen de una lógica de retroalimentación positiva y negativa entre los elementos que los componen. En cuanto a los conceptos de adaptación y evolución, en las ciencias biológicas contemporáneas estos fenómenos se han explicado desde una concepción cibernética de los mecanismos de la herencia y el desarrollo en los organismos.

Crucialmente, los modelos elaborados en el campo del diseño digital en base a metáforas biológicas, de inspiración cibernética, han reforzado la concepción sistémica de los objetos arquitectónicos y de los procesos de diseño.

⁴³ Como se verá en el siguiente capítulo, esta manera de concebir los problemas disciplinares también ha recibido un enorme impulso de la sinergia que ha existido entre la computación y las visiones informacionales de los fenómenos biológicos. Es interesante anotar que en este sentido el pensamiento cibernético también ha sido una importante influencia.

4.12 *Sistemas homeostáticos, emergentes y evolutivos*

Por ejemplo, el concepto de homeóstasis, que se refiere a los mecanismos mediante los cuales un organismo vivo se mantiene en un estado de equilibrio frente a condiciones internas y externas variables, ha sido empleado en la arquitectura para caracterizar los problemas de diseño como una cuestión de balance entre diversas condiciones, actores y fuerzas. Concebidos como sistemas homeostáticos, los objetos arquitectónicos han sido construidos como artefactos que surgen de condiciones ambientales cambiantes y como sistemas que se adaptan, o evolucionan, en respuesta a estas condiciones. En fin, estos han sido pensados como sistemas que, como los organismos, establecen una relación de equilibrio con el medio ambiente. De este modo la arquitectura ha sido construida como “una suerte de máquina casi-orgánica que se comportaría como un organismo vivo.” (Sprecher, 2012, p. 27)

Este tipo de caracterización se observa en una variedad de modelos de diseño basados en la idea que los múltiples mecanismos orgánicos de ajuste y regulación dinámica hacen la homeostasis posible. Uno de estos ejemplos propone que aunque la arquitectura no es un organismo, esta comparte con los organismos el hecho de ser el resultado de la interacción de una gran variedad de factores. En este sentido se considera que lo que hace “la homeóstasis posible en la arquitectura es la síntesis de la multi-negociación entre...opuestos.” (Gao, 2012).

Ha sido con base en la aspiración de atribuir a los objetos arquitectónicos las capacidades de auto-regulación propias de los fenómenos orgánicos y otros sistemas naturales, que se han desarrollado una serie de metodologías de diseño basadas en construcciones de la arquitectura como un fenómeno emergente y auto-organizado, o como un sistema adaptativo y evolutivo.

Es interesante observar cómo estas construcciones de los objetos arquitectónicos (que se analizarán en los capítulos siguientes) mantienen un cercano vínculo con la caracterización sistémica de la arquitectura.

El concepto de emergencia ha ocupado un lugar prominente en las caracterizaciones de la arquitectura computacional. Como se mencionó arriba, de la visión holística de los problemas de diseño se desprende que las realidades arquitectónicas y urbanas no son procesos cerrados, deterministas y unidireccionales, sino que constituyen procesos abiertos y emergentes. En este contexto el concepto de emergencia ha sido empleado para caracterizar los procesos de concepción en los que la arquitectura es considerada como el resultado de la interacción entre usos, actores y condiciones variables. La concepción de la producción de la arquitectura como un

fenómeno emergente ha sido inseparable de su consideración como un fenómeno auto-organizado, concepto que describe los sistemas cuya organización es el producto de la acción conjunta de múltiples elementos sin que medie entre ellos un órgano de control central.

En referencia a estos dos conceptos, que en las elaboraciones de la arquitectura se han asociado con su empleo en las ciencias naturales para caracterizar procesos orgánicos como el desarrollo biológico y el comportamiento inteligente, se han formulado metodologías de diseño basadas en técnicas algorítmicas donde la forma es producida a partir de reglas simples. De este modo el rol del arquitecto se ha limitado a la definición de un programa de restricciones y parámetros, y los procesos de formación de la arquitectura ha pasado a ser pensados como sistemas autónomos y dinámicos, como la materialización de una serie de variables correspondientes a diversos factores que definen una realidad arquitectónica o urbana (Fig. 11).

El principio es más o menos el mismo en los modelos genéticos de diseño, que se han construido en referencia a las nociones de evolución y adaptación. En referencia a una serie de ideas importadas de campos como la biología molecular y evolutiva, y mediante el empleo de técnicas desarrolladas en el campo de la biología computacional, los modelos genéticos han explorado el diseño como un proceso generativo y la arquitectura como un sistema codificado genéticamente (Fig. 12). Desde esta perspectiva los edificios han sido considerados como sistemas naturales que se adaptan y evolucionan de acuerdo a un ambiente dado y en



Figura 11

Dentro de esta lógica, el proyecto de investigación Associative Design, dirigido por Peter Trummer, tiene como objetivo proyectar nuevos modelos de urbanización dirigidos por las fuerzas de los regímenes urbanos contemporáneos. Fuente: AD, 2008. Vol. 78 (2).

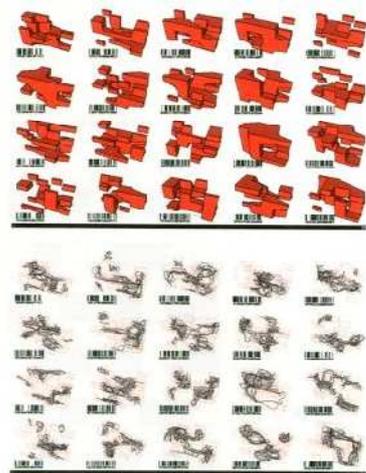


Figura 12

Este experimento de “modificación genética del espacio” muestra tres etapas de la convergencia de un diseño hacia una solución óptima. El sistema empleado es un algoritmo genético basado en un método de optimización entre múltiples parámetros, mediante el ajuste gradual de parámetros individuales. Fuente: Space Craft, 2008. D. Littlefield (Ed).

función de criterios de selección.⁴⁴

4.13 Arquitecturas bio-mórficas y bio-miméticas

La elaboración de la arquitectura alrededor de estos imaginarios se ha asociado con dos tipos de “biologización” de la profesión, que pueden definirse como exploraciones bio-mórficas y bio-miméticas. Se consideran exploraciones bio-mórficas las investigaciones estéticas orientadas hacia la expresión simbólica de la concepción bio-inspirada de la arquitectura. Se definen como bio-miméticas las prácticas orientadas hacia el estudio de los sistemas naturales con el fin de desarrollar diseños mejor adaptados a los complejos requerimientos de la producción arquitectónica contemporánea.

En lo que concierne la primera tendencia señalada, desde hace algunos años asistimos a la proliferación, en el panorama arquitectónico contemporáneo, de nuevos imaginarios formales en los que las representaciones tradicionales de la arquitectura han sido reemplazadas por objetos que encarnan, de manera literal, el espíritu tecno-científico propio de la perspectiva computacional en la arquitectura. Así, las analogías orgánicas en la arquitectura digital se han traducido frecuentemente en el desarrollo de arquitecturas basadas en la representación simbólica de la concepción de los objetos arquitectónicos como sistemas orgánicos y como mecanismos cibernéticos (Fig. 13).

Por otra parte, detrás del desarrollo de muchas

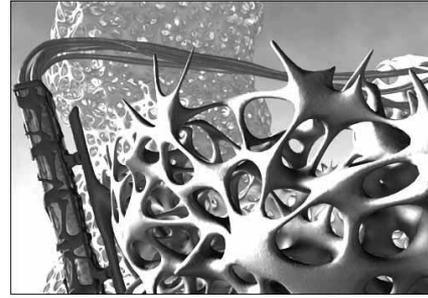


Figura 13

El proyecto “I’ve Heard about” de R&Sie(n) es un caso emblemático de diseño bio-inspirado que opera fundamentalmente como la expresión simbólica de sus referencias. El proyecto, descrito como un “experimento entrópico de urbanismo auto-organizado”, plantea un modelo algorítmico de crecimiento que emplea como datos de entrada las necesidades del habitante y la lectura de su fisiología. Fuente: *Digital Culture in Architecture*, 2010. A. Picon.

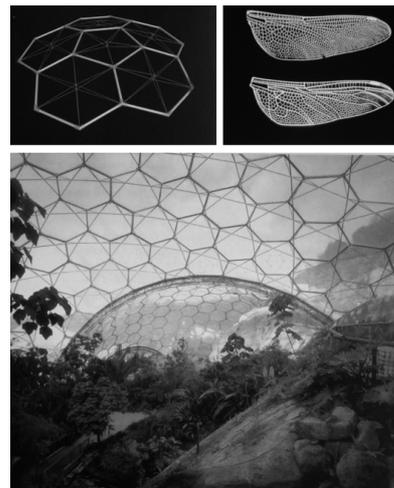


Figura 14

El proyecto Eden de Grimshaw & Partners es un caso paradigmático de la instrumentalización de las referencias biológicas en el diseño. En este caso la geometría observada en un sistema orgánico es aplicada a la estructura de los domos para desarrollar un sistema material y estructuralmente eficiente. Fuente: *Performative Architecture*, 2005. B. Kolarevic & A.M. Malkawi (Eds).

⁴⁴ Es interesante anotar que en los métodos de computación evolutiva la noción de *fitness* se ha relacionado con el concepto de *performance*. En este sentido la metáfora de la selección natural ha sido empleada para caracterizar los procesos de búsqueda estocástica y de selección de la solución mejor adaptada a un problema planteado.

aproximaciones bio-inspiradas en el diseño ha habido un real interés en el desarrollo de una arquitectura realmente sistémica. Esta otra tendencia en el campo del diseño computacional se ha caracterizado por el intento de llevar las metáforas biológicas en el diseño a un plano altamente instrumental (Fig. 14). De este modo, el desarrollo de metáforas biológicas en este tipo de exploraciones se ha concebido como una búsqueda orientada a reproducir los atributos básicos de los organismos biológicos en la arquitectura. En este sentido la integración de nociones heredadas de las ciencias biológicas, de la computación y otros campos de investigación, como la vida artificial y la ciencia de materiales, se ha planteado como una investigación de metodologías de concepción que facilitan la definición de escenarios complejos de diseño.

Independientemente de la discusión sobre la relevancia de una u otra aproximación, lo que interesa de momento es señalar de qué manera la construcción bio-inspirada del diseño, sea en términos de la investigación estética o instrumental de las referencias biológicas introducidas en las elaboraciones de la arquitectura, aparece como uno de los resultados de pensar los problemas de diseño desde el paradigma informacional.

En consecuencia, dos de los factores que han definido la agenda de algunas de las más influyentes prácticas de la arquitectura digital han sido el desarrollo de metodologías de diseño que integran una concepción sistémica y bio-inspirada de la arquitectura, y el desarrollo de técnicas computacionales que corresponden a esta manera de pensar los problemas de la profesión. En este sentido los modelos genéticos y emergentes, dos de las tendencias dominantes en la arquitectura computacional, pueden pensarse como una extensión del pensamiento sistémico en la arquitectura y, por lo tanto, como producto de pensar la profesión desde las narrativas puestas en circulación por la cibernética. El análisis detallado de la relación entre estos modelos y el paradigma cibernético es el tema de los capítulos 5 y 6.

4.14 Conclusión

Aquí se ha tratado de mostrar en qué sentido la concepción de la arquitectura como un fenómeno holístico y auto-regulado, problema central planteado desde las primeras experiencias que dieron origen a la perspectiva computacional en la profesión, se desprende de la concepción de los problemas de la arquitectura como sistemas. Teniendo en cuenta el vínculo entre el pensamiento sistémico y la cibernética, la caracterización de la arquitectura como un sistema aparece como ejemplo paradigmático de la construcción de los problemas de la profesión en referencia a los discursos de la información.

Lo anterior se ha reflejado fundamentalmente en la construcción de los problemas de la arquitectura desde una lógica de causalidad relacional, que se ha asociado con la aspiración de concebir los objetos diseñados como mecanismos similares en su funcionamiento a los mecanismos cibernéticos. Por esta vía aquí se ha mostrado, por una parte, que la visión sistémica en la arquitectura ha mantenido un vínculo directo con la concepción de los fenómenos como sistemas comunicacionales y como sistemas de retroalimentación. Y por la otra, que lo anterior es indisociable de la “biologización” de la arquitectura propia de muchas producciones de la arquitectura computacional.

De este modo se ha señalado cómo es posible seguir el rastro de las narrativas cibernéticas en dos de las más influyentes elaboraciones de la arquitectura en este campo: la construcción de sus objetos como mecanismos genéticos y su concepción como fenómenos complejos. En los siguientes capítulos se plantea un análisis en el que se estudia cómo, en referencia a los cambios ontológicos propios de la perspectiva sistémica en la profesión, los arquitectos han explorado metodologías de diseño alternativas mediante modelos genéticos y emergentes, investigaciones que se han basado tanto en el empleo de técnicas computacionales, como en la construcción de nuevas elaboraciones de los problemas de diseño que emanan del paradigma informacional.

5. Mecanismos genéticos

5.1 Resumen

Como se vio en el capítulo precedente, diversos fenómenos físicos, sociales y naturales han sido estudiados como fenómenos comunicacionales en referencia a los modelos y conceptos promovidos por la cibernética. En las ciencias biológicas esta influencia se percibe claramente en dos campos cuyos modelos y técnicas han sido una referencia crucial para las exploraciones morfo-genéticas de la arquitectura: la biología molecular y la biología computacional. Detrás de los modelos y nociones desarrollados en estos dos campos se encuentra una concepción del organismo construida alrededor de conceptos como información, lenguaje, código y mensaje.

El desarrollo de la biología molecular en la segunda a mitad del siglo pasado constituye el paradigma de este cambio en las representaciones de los fenómenos biológicos. Desde entonces las explicaciones de los mecanismos de la herencia, y de otros fenómenos orgánicos como la adaptación y el desarrollo, se han basado en gran medida en metáforas informacionales. La construcción de los mecanismos genéticos como una suerte de sistema computacional, basada en la concepción del ADN como un texto programado y de la información como el motor de la vida, constituye uno de los ejemplos más relevantes de la influencia de la cibernética en la ciencia contemporánea.

Además de reforzar los discursos sobre la información como esencia de todos los fenómenos observables, esta concepción informacional de los mecanismos de la herencia contribuyó a la consolidación del paradigma cibernético en otros campos de la biología. Este es el caso del desarrollo de la biología computacional, una rama de la investigación en las ciencias de la vida en la que diversos aspectos del funcionamiento de los sistemas naturales han sido estudiados desde una perspectiva informacional, y simulados mediante técnicas computacionales.

Estos dos desarrollos en las ciencias biológicas han tenido un impacto importante en la arquitectura digital. De acuerdo con las explicaciones de la herencia investigadas por la biología molecular, una de las ideas más exploradas en las aproximaciones computacionales en la arquitectura ha sido la representación de los objetos arquitectónicos como la materialización de un conjunto de reglas contenidas en un programa. Esta aproximación al diseño ha sido investigada mediante la adopción de una serie de técnicas desarrolladas en la biología computacional, y se ha basado en la elaboración de analogías entre la concepción algorítmica de la arquitectura y fenómenos biológicos como la codificación genética, la evolución y el desarrollo.

El objetivo de este capítulo es señalar la importancia de las representaciones informacionales de los fenómenos orgánicos para el desarrollo de los modelos morfo-genéticos en la arquitectura computacional. Lo anterior teniendo en cuenta el papel protagónico del paradigma cibernético en la representación de los sistemas biológicos como fenómenos comunicacionales. Por esta vía se pretende mostrar cómo los modelos genéticos mantienen un vínculo con las visiones cibernéticas de la arquitectura exploradas en los capítulos anteriores, con su concepción como un sistema dinámico, integrado, informacional y capaz de exhibir propiedades similares a las de los organismos.

En la primera parte del capítulo se propone una mirada al influjo de los discursos de la información en el desarrollo de la biología molecular moderna, y a la manera en que las visiones del organismo resultantes fueron determinantes para la consolidación del campo de la biología computacional. En base a este análisis, en la segunda parte del capítulo se analiza cómo los modelos desde los que se ha explorado el diseño alrededor de metáforas genéticas, se han construido en referencia a las representaciones informacionales (y las técnicas computacionales de simulación) de los sistemas orgánicos propias de estos dos campos. De esta manera se pretende mostrar cómo las exploraciones morfo-genéticas en la arquitectura computacional se han desarrollado en gran medida alrededor de la ontologización de una de las premisas centrales de la teoría cibernética, a saber, la idea según la cual todos los fenómenos en el mundo son en su esencia información.

5.2 La biología molecular y el pensamiento informacional

Sin duda algunos de los imaginarios dominantes en la cultura tecno-científica contemporánea han emanado de la posibilidad de manipular y transformar la naturaleza mediante el conocimiento y control preciso del ADN, molécula considerada como la materia prima de la vida. Detrás de estos imaginarios se encuentra una importante transformación en el estudio de los mecanismos de la herencia en los organismos, que a partir de los años cincuenta del siglo pasado, comenzaron a ser pensados como un sistema de información. El desarrollo de la biología molecular estuvo determinado por este cambio fundamental, a partir del cual diversas explicaciones de los fenómenos orgánicos han mantenido una estrecha relación con los discursos de la información. La biología molecular moderna se constituyó alrededor de la construcción del ADN como un código, idea que en las ciencias naturales ha constituido el paradigma de la representación de la vida como un fenómeno esencialmente informacional.

Como su nombre lo indica, la biología molecular se ocupa del estudio de los organismos a la escala de la molécula. Una definición más precisa, propuesta por Michel Morange, se refiere a este campo como “el conjunto de técnicas y descubrimientos que han permitido el análisis molecular de los procesos más íntimos de la vida, los que aseguran la perennidad y la reproducción.” (Morange, 1994, p. 5)

Esta disciplina científica surgió del vínculo de dos campos de las ciencias de la vida antes distantes: la genética y la bioquímica. Según Morange, en la biología molecular confluyen el estudio de los genes, problema central de la genética, y el estudio de las proteínas y las enzimas, terreno de investigación propio de la bioquímica.⁴⁵ Para Morange, la biología molecular nació cuando cientos de genetistas comenzaron a interesarse por los mecanismos de acción de los genes, al tiempo que los bioquímicos intentaban comprender la acción de los genes en la producción de las proteínas y las enzimas (Morange, 1994, p. 5). Más precisamente, señala el autor, la biología molecular nació cuando se definieron las relaciones entre estos dos campos, es decir, cuando “el gen es identificado con una macro-molécula, el ADN...[l]a estructura de ésta es determinada...[y su] rol en la síntesis de proteínas caracterizada.” (Morange, 1994, p. 6)

En base a estos tres factores, la biología molecular se desarrolló alrededor de la comprensión de las interacciones entre varios sistemas de la célula, especialmente las relaciones entre el ADN, el ARN y la síntesis de proteínas. A partir del dogma central establecido por Francis Crick – según el cual el material genético es transcrito en el ARN y posteriormente traducido en proteínas – la biología molecular se estableció como el estudio de los procesos de replicación, transcripción y traducción del material genético a nivel molecular.

Como se verá más adelante, la propuesta de Crick se encuentra en la base del desarrollo de una serie de metáforas en las que los procesos estudiados por la biología molecular fueron concebidos como sistemas cibernéticos, como códigos cifrados o como un conjunto de instrucciones. En su extenso trabajo sobre el origen de la representación informacional del ADN, Lily E. Kay ejemplifica lo anterior mediante un ejercicio en el que (parafraseando un análisis de Richard Boyde sobre el papel de la teoría de la información en la psicología cognitiva) señala una serie de aspectos que

⁴⁵ Para Morange, “[l]a biología molecular nace cuando el problema de la naturaleza de los genes, de su mecanismo de acción, comienza a cautivar el espíritu de cientos de genetistas, cuando estos no se contentan de una visión casi abstracta del rol y la naturaleza de los genes. También nace cuando los bioquímicos intentan comprender cómo las proteínas y las enzimas, agentes esenciales de la especificidad de la vida, son fabricadas en las células y cuál es la interacción de los genes en este proceso.” (Morange, 1994, p.5).

indican de qué manera los mecanismos genéticos fueron reelaborados dentro de un nuevo paradigma. De esta reelaboración se desprenden los siguientes puntos:⁴⁶

1) El argumento de que la *herencia* es una forma de “procesamiento de información” y que el *genoma* es una especie de computador. 2) La sugerencia que ciertos *procesos genéticos* son “pre-programados”. 3) Disputas sobre el problema de la existencia de un *lenguaje genómico* interno en el que *reorganizaciones combinatorias* son llevadas a cabo. 4) La sugerencia que cierta información esta “codificada” o “indexada” en el *genoma*. 5) Disputas sobre hasta qué punto la *expresión genética* es producida por la maduración de nuevas “subrutinas” “preprogramadas”, en oposición a la adquisición de “rutinas heurísticas” aprendidas, o el desarrollo de mayores “capacidades de almacenamiento” o mejores “procesos de adquisición de información”. 6) La visión de que el *desarrollo biológico* es una “máquina auto-organizada.” 7) La visión según la cual la *regulación genética* es un fenómeno de “retroalimentación.” (Kay, 2000, pp. 24-25)

El ejemplo anterior muestra la profunda penetración del paradigma informacional en las explicaciones de los fenómenos estudiados por la biología molecular, explicaciones que han resultado de la concepción de los mecanismos de la herencia como un sistema basado en la codificación y transmisión de información. Tal caracterización de estos procesos biológicos ha estado, en gran parte, en el origen de la generalización de la visión informacional en la construcción de diversos fenómenos orgánicos.

5.3 Del pensamiento informacional en la biología a la biología computacional

Es importante anotar que la representación de los sistemas biológicos como sistemas de información ha sido tan relevante para la biología como lo ha sido para la computación. Este argumento, que resulta útil para pensar la estrecha relación que desde mediados del siglo pasado se ha establecido entre las ciencias biológicas y las ciencias de la información, ha sido expuesto por Katherine Hayles. Según la autora de *How We Became Posthuman*, con la introducción de los discursos de la información en la biología, a la vez que la informática sirvió como modelo para las ciencias de la vida, las representaciones informacionales de los organismos también sirvieron como modelo para el desarrollo de la computación (Hayles, 1999).

⁴⁶ La autora retoma el texto de Boyde, reemplazando los conceptos usados por él por conceptos clave de la biología celular. Las palabras en cursiva corresponden a los conceptos introducidos por Kay.

En efecto la comprensión de los organismos como sistemas de información ha estado estrechamente relacionada con el desarrollo de modelos computacionales, que han sido cruciales tanto para el estudio de los fenómenos biológicos, como para el desarrollo de la informática. El trabajo de John von Neumann sobre los autómatas celulares, que de alguna manera anticipó el desarrollo de la biología computacional, constituye el mejor ejemplo de esta relación.

De acuerdo con la definición propuesta por Stephen Wolfram, los autómatas celulares constituyen una idealización matemática de sistemas físicos donde el espacio y el tiempo son considerados como factores discretos. El modelo consiste en una matriz (esta puede ser unidimensional, bidimensional o tridimensional) de espacios (o células) donde a cada espacio corresponde una variable discreta y el estado global del autómata celular es determinado por los valores de las variables en cada sitio. El estado de cada célula en la matriz es actualizado individualmente y de manera paralela, paso a paso, y según un conjunto finito de reglas – que determinan el valor de cada una de las células en función de los valores de sus células vecinas en el paso anterior (Wolfram, 1994, pp. 5-6).

Este modelo fue desarrollado por von Neumann como una representación simplificada de su descripción de un autómata capaz de auto-reproducirse. Debido a la imposibilidad de producir un modelo experimental como el descrito en su artículo *Central and Logical Theory of Automata*, von Neumann decidió, siguiendo el consejo de su colega Stanislaw Ulam, presentar su “idea reduccionista del desarrollo biológico” a través de un modelo bidimensional discreto (Berto & Tagliabue, 2012)

Según el análisis de Kay, el interés de von Neumann “en la biología, en general, y en la genética, en particular, estuvo estrechamente vinculado con su misión de desarrollar máquinas auto-reproductoras.” (Kay, 2000, p. 106) Inspirándose en el trabajo de McCulloch y Pitts sobre las redes neuronales, el modelo de los autómatas celulares apuntaba a demostrar que es posible construir mecanismos artificiales capaces de exhibir algunas de las características principales de los seres vivos, por ejemplo, su capacidad para reproducirse y evolucionar. Por este motivo, el trabajo de von Neumann sobre los autómatas celulares ocupa un lugar relevante en la consolidación del tratamiento de los fenómenos biológicos como sistemas de información. Especialmente en lo concerniente a la construcción de las visiones informacionales de los mecanismos de la herencia alrededor de las cuales nació la biología molecular.

Kay sostiene que desde que fue cautivado por el trabajo de McCulloch y Pitts (cuyo problema central era la comparación entre las máquinas de cálculo y el sistema nervioso humano),⁴⁷ von Neumann se acercó a la comunidad biomédica y comenzó a participar de manera activa en diversas conferencias que reunían representantes de campos como la física, las matemáticas y la cibernética.

El interés de von Neumann por la genética aparece claramente en su artículo *Central and Logical Theory of Automata*.⁴⁸ En dicho artículo, von Neumann propone un modelo cinemático para la producción de un autómata capaz de auto-reproducirse mediante el uso de una serie de partes elementales y de un conjunto de instrucciones, que el autómata es capaz de reproducir.⁴⁹ En el modelo propuesto la función de las instrucciones es considerada como un aspecto análogo a la función de los genes, mientras que el proceso de copia de las instrucciones se asocia con los mecanismos de duplicación del material genético. En palabras de von Neumann, “es bastante claro que la instrucción...efectúa aproximadamente las funciones de un gen. También es claro que el mecanismo de copia [de las instrucciones] realiza el acto fundamental de reproducción, de duplicación del material genético, que es claramente la operación fundamental en la multiplicación de las células vivientes.” (Von Neumann, 1962, p. 317)

Kay explica que tras su intercambio con la comunidad de científicos que estudiaban los mecanismos genéticos, von Neumann se interesó por la explicación de la relación gen-enzima del microbiólogo Sol Spiegelman, mientras que este último fue cautivado por las ideas de von Neumann sobre sus máquinas auto-reproductoras (Kay, 2000, pp. 107-108).

Así, mientras el encuentro con la comunidad biomédica habría dado a von Neumann la confianza de que su modelo correspondía a mecanismos presentes en la naturaleza, el modelo elaborado

⁴⁷ Este es un tema recurrente en varios artículos de von Neumann entre los cuales se encuentran *The computer and the Brain*, *Theory of Self-reproducing Automata* y el arriba mencionado *Central and Logical Theory of Automata*.

⁴⁸ Artículo que, dicho sea de paso, es la transcripción de la presentación de von Neumann en el simposio *Cerebral Mechanisms in Behavior*, que contó entre sus organizadores a figuras como George Beadle, Max Delbruck y Linus Pauling, científicos que jugaron un papel importante en la definición del paradigma informacional en la biología molecular.

⁴⁹ Este modelo, de acuerdo a la descripción propuesta por Kemeny, se componía de tres unidades conceptuales que aparecen claramente en el modelo de autómatas celulares: un sistema nervioso para el control lógico, un cuerpo compuesto de células que permite transformar otras células circundantes, y células transmisoras, vistas como un conjunto de cromosomas y consideradas como la unidad crucial de la máquina, para transportar mensajes desde los centros de control (citado en Kay, 2000, p.112).

por él ayudaba a consolidar las visiones informacionales del funcionamiento del organismo, promovidas por diferentes científicos vinculados al naciente campo de la biología molecular.

Por lo tanto no es extraño que el modelo de los autómatas celulares haya sido ampliamente utilizado, desde hace varias décadas, para el estudio de diversos sistemas biológicos. Por ejemplo, Stephen Wolfram, cuyo ensayo *A New Kind of Science* consiste en una extensa investigación sobre los autómatas celulares, ha argumentado que estos programas computacionales simples pueden reproducir varios aspectos de los sistemas naturales, e incluso capturar los mecanismos genéticos que generan a los organismos. Según la visión de Wolfram, la idea de pensar en términos de programas parece evidente en el caso del organismo, esto gracias a la similitud entre el material genético y un programa computacional: “[l]a idea general de pensar en términos de programas es...más obvia para los sistemas biológicos que para los sistemas físicos...en un sistema biológico hay material genético que puede ser pensado casi directamente como lo que provee un programa para el desarrollo del organismo.” (Wolfram, 2002, p. 383)

Siendo un ejemplo paradigmático de la representación de los fenómenos biológicos como sistemas informacionales y, al mismo tiempo, de la producción de técnicas computacionales alrededor de metáforas biológicas, el modelo de los autómatas celulares aparece como un antecedente fundamental en el desarrollo del campo de la biología computacional. De hecho, el estrecho vínculo entre el modelo propuesto por von Neumann y los inicios de la visión informacional de los mecanismos de la herencia, aparece como un factor clave que ayuda a situar el origen de la biología computacional en los orígenes mismos de la biología molecular.

5.4 La biología computacional

El desarrollo del campo de la biología computacional constituye el mejor ejemplo de la relación, señalada por Hayles, que ha existido entre la informática y las representaciones informacionales de la vida. Este terreno de investigación, que se ha enfocado en el estudio y simulación de los fenómenos biológicos en base a su representación como sistemas de información, ha sido el escenario del desarrollo de una serie de técnicas que han sido ampliamente aplicadas al estudio de múltiples problemas en diversas disciplinas, incluido el diseño arquitectónico.

Como lo demuestra el trabajo de von Neumann mencionado arriba, la idea de concebir los organismos como procesadores de información, cuyo funcionamiento es considerado análogo al de los sistemas computacionales, es tan antigua como la computación misma. Melanie Mitchell insiste sobre esta idea al recordar que algunos de los precursores de la informática, entre ellos

Wiener, Turing y, desde luego, von Neumann, estuvieron motivados por visiones de crear programas inteligentes, capaces de reproducirse y de adaptarse a un ambiente cambiante. Es por esta razón que los pioneros de la informática se interesaron tanto por la electrónica como por la biología y la psicología, y observaron los sistemas naturales como modelos para sus ideas (Mitchell, 1996, p. 1).

Con la introducción del pensamiento informacional en la biología estas visiones solamente podían reforzarse. El resultado ha sido una retroalimentación permanente entre los modelos construidos en la computación y en la biología, donde, como se ha visto arriba, el modelo informacional ha servido para explicar los mecanismos biológicos y las explicaciones informacionales de la biología se han convertido en metáforas para el desarrollo de modelos computacionales –algunos de los cuales se han propuesto como modelos universales para el estudio de diversos fenómenos naturales y artificiales.

La visión de los mecanismos genéticos como un sistema informacional subyace al desarrollo de una variedad de modelos en el campo de la biología computacional, concebidos como herramientas para el estudio de diversos fenómenos orgánicos. Lo anterior es confirmado por varios autores que han coincidido al situar el origen de este campo de investigación en los comienzos mismos de la biología molecular. Por ejemplo, Paul Hogeweg afirma que con el nacimiento de la biología molecular “fue reconocido que un tema central de investigación debía ser cómo los sistemas vivientes recopilan, procesan, almacenan y usan información” y que este enfoque, basado en conceptos relacionados con los discursos de la información, aparece reflejado “en la terminología «código genético», el dogma central como el flujo unidireccional de información, etc.” (Hogeweg, 2011, p. 1)

Según Hogeweg, en base a los desarrollos de la biología molecular, se consideraba que “una de las propiedades determinantes de la vida era el procesamiento de información en varias formas, por ejemplo, la acumulación de información durante la evolución, la transmisión de información desde el ADN a procesos intracelulares, y la interpretación de tal información en múltiples niveles.” (Hogeweg, 2011, p. 1) En consecuencia, la biología computacional surgió como una rama de la biología orientada hacia el desarrollo de técnicas informáticas cuyo objetivo ha sido el estudio y simulación de los sistemas naturales, concebidos como sistemas informacionales (Hogeweg, 2011, Trifonov, 2000, Ouzounis & Valencia, 2003, Searls, 2010, Back, et al., 1997).

Hogeweg, uno de los pioneros de la biología computacional, explica que este terreno de investigación se consideró, de manera general, como “el estudio de los procesos informacionales en los sistemas bióticos.” Según el autor, el campo de la bio-informática pretendía “combinar el

análisis de patrones y la modelización dinámica y aplicarlos al reto de esclarecer la generación de patrones y el procesamiento de información en los sistemas bióticos en múltiples niveles.” (Hogeweg, 2011, p. 2)

En relación con este objetivo, la biología computacional ha envuelto el desarrollo y aplicación de métodos teóricos y de análisis de datos, de modelización matemática y de simulación computacional para el estudio de los sistemas biológicos.⁵⁰ Dentro de este campo se han desarrollado una variedad de modelos, algunos de los cuales han encontrado aplicaciones en esferas muy diferentes al estudio de los procesos biológicos. Entre estos se cuentan los algoritmos genéticos y los sistemas de Lindenmayer (dos modelos que, junto con los autómatas celulares, han sido ampliamente explorados como herramienta de diseño en las prácticas de arquitectura computacional). Una mirada a estos dos modelos permite entender mejor la relación entre la biología computacional y el paradigma de investigación promovido por la biología molecular.

5.5 Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos, creados por John Holland en la década de 1970, fueron concebidos para el estudio del fenómeno de adaptación como ocurre en la naturaleza. El modelo es una técnica algorítmica que permite recrear los mecanismos de adaptación en sistemas computacionales, sea para la simulación del comportamiento de los organismos o como método para resolver diferentes tipos de problemas (Holland, 1992, p. 3).

Desde la perspectiva adoptada por Holland, la evolución biológica es considerada como un espacio de búsqueda entre un gran número de posibles soluciones (por ejemplo el conjunto de secuencias genéticas) para la producción de organismos altamente adaptados a un medio ambiente cambiante. De este modo, la evolución es concebida en términos computacionales como un método para encontrar soluciones entre un número amplio de posibilidades. Así, los organismos son construidos como mecanismos adaptativos basados en reglas, que se reproducen y evolucionan a través de un proceso de selección determinado por la retroalimentación permanente entre una solución candidata y un ambiente dado. Mediante este proceso se define la capacidad de adaptación de cada solución analizada. Las soluciones que presentan un alto nivel

⁵⁰ Al respecto, Timothy Lenoir y Casey Alt sostienen que la genómica, la biología computacional y la bio-informática han reestructurado el campo de la biología al introducir una serie de herramientas de las ciencias de la información en el repertorio de las técnicas desarrolladas por la biología molecular. El resultado habría sido una nueva biología unida al análisis de datos más que una ciencia de la observación. Por lo tanto, concluyen los autores, en términos disciplinares, la biología se ha convertido en una ciencia de la información (Lenoir & Alt, 2003, p. 325).

de adaptación son seleccionadas para producir una mayor descendencia, de modo que la población de soluciones analizadas tiende a evolucionar hacia mayores niveles de adaptación.

Además de la referencia a los mecanismos de selección y adaptación en los organismos, el modelo de Holland se construye en base a una serie de metáforas genéticas. Por ejemplo, en la terminología de los algoritmos genéticos una solución candidata a un problema, que es codificada como una secuencia de símbolos es llamada “cromosoma”. Los dígitos binarios se definen como “genes”, los unos y ceros en una secuencia se llaman “alelo” y el código que define una solución candidata o “cromosoma” es considerada como un “genotipo”. De la misma manera, ciertas operaciones propias de la computación (iteración, encapsulamiento, búsqueda y variación aleatoria) son empleadas en el modelo de Holland en referencia directa a operadores genéticos como la mutación, la recombinación y la selección.

Para explicar el marco formal de su modelo, Holland también recurre a una analogía entre los mecanismos genéticos y la computación. El autor explica que una manera de entender el modelo propuesto es ver la producción de genotipos como un procedimiento de muestreo (*sampling procedure*), en el cual el espacio de prueba (*sampling space*) sería el conjunto de todos los genotipos posibles y el resultado de cada prueba sería el *performance* del genotipo particular analizado (Holland, 1992, p. 12). En la definición del modelo propuesta por Mitchell, este método es descrito como “un método para moverse de una población de cromosomas...a una nueva población usando una especie de «selección natural» junto a los operadores inspirados en la genética de recombinación, mutación e inversión...El operador de selección escoge los cromosomas en la población a los que les será permitido reproducirse, y, en promedio, los cromosomas más aptos producen más descendencia que los menos aptos.” (Mitchell, 1996, p. 3)

Aunque el modelo desarrollado por Holland se inspira fundamentalmente de los procesos evolutivos en los organismos, estos procesos se conciben en relación directa al dogma central establecido por Crick. Lo anterior en la medida que se parte de la existencia de una estructura de base, el ADN, que es considerado como el soporte estable y transmisible de la información genética, y del supuesto que esta estructura define las funciones biológicas de un organismo. Así, los procesos evolutivos, concebidos como el resultado de la acción permanente de ciertos operadores en la estructura genética de los organismos, son recreados por Holland en concordancia con los modelos informacionales de la biología molecular, es decir, como mecanismos computacionales, códigos y operaciones algorítmicas.

5.6 Sistemas de Lindenmayer

El caso de los sistemas de Lindenmayer, también conocidos como *L-Systems*, es similar. A este modelo, que se concibió como un método de análisis del desarrollo en las plantas, también subyace la premisa que las funciones del organismo se encuentran codificadas en un programa.

Los *L-Systems*, fueron introducidos en 1968 por Aristid Lindenmayer. Se trata de un marco teórico, basado en el empleo de algoritmos matemáticos que exhiben las características del crecimiento biológico, para el estudio del desarrollo de los organismos multicelulares simples en términos de la división, el crecimiento y la muerte de las células (Prusinkiewicz, 1996, p. 4). Originalmente el énfasis de los *L-Systems* fue el estudio de las relaciones entre células u otros módulos de las plantas, aunque posteriormente ha sido empleado para estudiar el desarrollo de organismos más complejos. Asimismo, varias interpretaciones geométricas han sido propuestas ulteriormente para convertir el modelo en una herramienta gráfica computacional para la visualización realista de la estructura de las plantas y de los procesos de emergencia y desarrollo (Prusinkiewicz & Lindenmayer, 1990, pp. vi-vii). Al igual que otros modelos elaborados en el campo de la biología computacional, más recientemente los *L-Systems* han sido explorados como herramienta generativa en otros campos de investigación, particularmente en la teoría de fractales y en el diseño.

La formulación de los *L-Systems* estuvo estrechamente relacionada con las teorías formales del lenguaje y con la teoría de algoritmos; entre sus modelos de referencia se encuentran algunos sistemas recursivos que incluyen los autómatas celulares, los sistemas de generación de fractales de Koch y las gramáticas formales de Chomsky. Al igual que en estos modelos de referencia, en un sistema de Lindenmayer los componentes de un organismo son simbolizados como cadenas de símbolos, y la representación del desarrollo de una forma orgánica es generada mediante la aplicación sistemática, en pasos discretos, de mecanismos de reescritura. Este es el aspecto central de los *L-Systems*, que corresponden a una técnica para definir objetos complejos (o conjuntos de símbolos) mediante el remplazo sucesivo de las partes de un objeto inicial simple usando un conjunto finito de reglas. El sistema se basa en la aplicación recursiva de reglas que definen un proceso de reescritura de los símbolos en una cadena, formalización que corresponde a la representación simbólica del proceso de desarrollo y crecimiento de un organismo.⁵¹

⁵¹ En el modelo cada configuración de los estados en una matriz dada es considerada como una descripción momentánea del organismo; en consecuencia, la vida entera de un organismo es descrita por una secuencia que corresponde a la matriz. Dicha secuencia está determinada por una función de transición entre diferentes estados que se aplica a todas las células en la matriz: "Una transición de estado puede consistir en un cambio del símbolo del estado

La representación del organismo a través de un lenguaje formal que expresa las reglas generativas del desarrollo, revela la clara conexión del modelo con la visión informacional de los organismos, que se desprende de los desarrollos propios del origen de la biología molecular. Pero, al igual que en el caso de los algoritmos genéticos, esta conexión aparece de manera mucho más clara si se tiene en cuenta la relación que establece Lindenmayer entre su modelo y las explicaciones de la herencia tal como se desprenden del dogma central.

Lindenmayer plantea que, puesto que en los organismos avanzados las células parecen ser las únicas unidades con continuidad genética, se asume que estas son las unidades básicas para la descripción del desarrollo. Lo anterior implica que para Lindenmayer existe un programa o algoritmo del desarrollo codificado en las células. Teniendo en cuenta que todas las células en el organismo son descendientes de una única célula, la pregunta que se plantea el autor es “qué programa contiene esta célula que le permite especificar el curso de desarrollo que el organismo sigue”, o, más precisamente, “qué instrucciones son necesarias para producir los tiempos y la organización espacial de los procesos celulares...durante toda la vida del organismo.” (Lindenmayer, 1975, p. 4) Es decir que, partiendo de la representación de los mecanismos de la herencia como un proceso de transmisión de información, en los *L-Systems* el desarrollo es concebido como una especie de programa computacional que funciona a nivel celular y a través de operaciones lógicas.

Como se ha visto en los dos ejemplos anteriores, los modelos desarrollados en el campo de la biología computacional comparten ciertos aspectos que reflejan claramente la concepción informacional de los fenómenos orgánicos. Esto se refleja en la definición de un marco de trabajo en el cual los fenómenos estudiados a través de estas técnicas son concebidos como sistemas basados en reglas; es decir, como sistemas que comparten las mismas características de un sistema computacional en la medida que constituyen un “un conjunto finito de elementos y/o símbolos que pueden ser operados usando un conjunto finito de reglas de producción y/o de operadores.” (Singh & Gu, 2012, p. 190)

Desde luego, a este tipo de caracterización de los sistemas biológicos subyace la concepción de los fenómenos vehiculada por la teoría cibernética.

de una célula en un nuevo símbolo, o puede representar la división de la célula permitiendo la sustitución de más de un símbolo en la matriz...o puede simbolizar la muerte de una célula permitiendo el reemplazo de un espacio vacío por un símbolo.” (Lindenmayer, 1975, p. 6)

5.7 La cibernética y el pensamiento informacional en la biología

En las páginas precedentes se ha visto que la concepción informacional de los mecanismos genéticos constituyó el problema central alrededor del cual se desarrolló la biología molecular y, en consecuencia, la biología computacional. Detrás de este cambio en las explicaciones y modelos de la biología se encuentra un aspecto crucial, que se deduce de los temas discutidos arriba. A saber, que estas transformaciones han sido el resultado del cambio de paradigma en el conocimiento resultante del paradigma cibernético.

Anteriormente se hizo referencia al dogma central postulado por Crick, según el cual el material genético es transcrito en el ARN y posteriormente traducido en proteínas. Esta premisa, alrededor de la cual se desarrolló la biología molecular, es particularmente representativa de cómo el concepto de información se consolidó como un aspecto crucial para las representaciones de los mecanismos orgánicos en este campo. Como se ha visto, el problema central planteado por la biología molecular fue la caracterización de los procesos genéticos como un problema de transmisión de información y del ADN como un código; para Crick la esencia de la síntesis de proteínas se explicaba en términos de “la circulación de materia, y principalmente el flujo unidireccional de la información...del ADN a las proteínas.” (Kay, 2000, p. 29)

En este sentido la formulación del dogma central habría sido una estrategia para reorganizar la biología molecular alrededor del modelo informacional, modelo que funcionaba “como un medio de demarcación de los límites disciplinares de la nueva biología molecular.” (Kay, 2000, p. 29) Según Kay, Crick “formalizó el discurso de la información como un medio de imponer un orden temático e imperativos retóricos al problema central de la síntesis de proteínas, la reproducción y el territorio disciplinar de la biología molecular.” (Kay, 2000, p. 29) De esta manera la visión comunicacional de los fenómenos promovida por el pensamiento cibernético se localizó en el centro de la agenda de investigación de la biología molecular.

Este cambio en la concepción de los mecanismos de la herencia – aunque esto ocurriera principalmente en un plano metafórico – dio paso a su representación como un sistema en el que el material genético está codificado en el ADN y cuyo funcionamiento sería análogo al de un programa computacional-celular, teleológico y auto-regulado. Es decir que con esta redefinición de los mecanismos genéticos la especificidad biológica se convirtió en informacional, y conceptos

como información, código y mensaje eventualmente se convirtieron en conceptos biológicos (Kay, 2000, p. 22).

Este cambio aparece representado en la manera en que una serie de conceptos propios del modelo cibernético se convirtieron en una referencia clave para las explicaciones de la biología molecular durante las décadas posteriores a la segunda guerra mundial.

Para Henry Quastler, uno de los primeros científicos que consideraron pensar los problemas biológicos en referencia a los discursos de la información, la estrategia de recurrir a conceptos como “información, mensajes, textos, códigos, sistemas cibernéticos, programas, instrucciones, alfabetos, palabras...sirvió como una potente metáfora para las viejas ideas sobre la especificidad química y biológica y como una (re)validación de la naturaleza molecular como un texto.” (Citado en Kay 2000, p.26)

Carl R. Woese da aun mayor importancia a la caracterización cibernética de los mecanismos de la herencia al describir el ADN y el ARN como moléculas informacionales gobernadas por reglas de procesamiento de información. Para Woese la relevancia de la caracterización cibernética en la biología molecular no se encuentra en “construcciones retóricas alrededor de hechos científicos”, sino en la producción de un marco de investigación definido por “modelos cibernéticos, temas informacionales, representaciones lingüísticas y comunicacionales de los ácidos nucleicos y de la síntesis de proteínas en el trabajo experimental e interpretativo de los biólogos moleculares desde los años 1950.” (Kay, 2000, p. 18).

El punto señalado por Woese aparece claramente reflejado en el trabajo de algunos de los más notables científicos involucrados en el desarrollo de la biología molecular.

François Jacob, por ejemplo, insiste sobre el impacto de la descripción de los mecanismos genéticos en términos de información, mensaje y código, al igual que en términos de la comparación entre el código genético y un programa computacional. Este es un aspecto central de su trabajo de investigación, que se refleja en su descripción de la herencia como un sistema análogo al funcionamiento de un ordenador. Según Jacob “[l]a herencia funciona como la memoria de un computador...órganos, células y moléculas están unidas por una red de comunicación.” (Citado en Kay, 2000, p.17)

Jacques Monod también emplea una descripción similar del organismo. Monod describe el organismo como “un sistema cibernético que gobierna y controla la actividad química en numerosos puntos.” Haciendo eco de algunos de los temas recurrentes en el trabajo de Wiener, las regulaciones gen-enzima son descritas por Monod como “sistemas comparables a los

empleados en la automatización de circuitos eléctricos, donde la mínima cantidad de energía consumida por un relé puede desencadenar una operación de gran escala como, por ejemplo, el lanzamiento de un misil” (Citado en Kay, 2000, p.17)

Otro caso bien conocido recuerda la importancia de la criptografía para las construcciones de la cibernética durante la segunda guerra mundial. En este sentido, para George Beadle los avances de la genética eran comparables al descubrimiento de la piedra de Rosetta. Para Beadle “[e]l lenguaje desconocido era el del ADN. La ciencia ahora puede traducir al menos unos pocos mensajes escritos en [el lenguaje del ADN] en lenguaje químico de sangre, hueso, nervios y músculos.” (Citado en Kay, 2000, p.17) Robert Sinsheimer también da gran importancia a la representación escritural de los cromosomas, descritos en consecuencia como un almacén de información y como un libro de la vida.⁵²

Estos pocos ejemplos parecen suficientes para explicar de qué manera las ideas cibernéticas dieron forma a la visión informacional de los organismos, visión alrededor de la cual se estructuró la agenda de investigación de la biología molecular, agenda que se encuentra en el origen de una serie de representaciones informacionales de la vida determinantes en diferentes ramas de la biología.

Como se vio arriba, en la consolidación de la visión informacional en la biología también ha jugado un papel importante la retroalimentación entre los modelos elaborados en las ciencias de la vida alrededor de este paradigma y la construcción de metáforas biológicas en la informática. Esta retroalimentación, crucial para el desarrollo de la biología computacional, fue un aspecto central en el trabajo de cibernéticos como Wiener y Ashby, quienes fundaron sus ideas en un marco conceptual para el estudio de los organismos y los servomecanismos como sistemas análogos.

La relevancia de este aspecto del trabajo de los cibernéticos también se percibe en el estudio de los sistemas orgánicos. El mejor ejemplo de lo anterior es la investigación sobre los autómatas celulares de von Neumann, cuyo trabajo sobre los autómatas capaces de auto-reproducirse se inscribe dentro de la misma línea de las analogías orgánicas empleadas por Wiener y Ashby. Además de su importancia en la historia de las ideas cibernéticas, el desarrollo del modelo de von Neumann también representa un caso paradigmático del influjo de los modelos cibernéticos en el desarrollo de las visiones informacionales de la biología.

⁵² Sinsheimer argumenta que “En este libro hay instrucciones, en un curioso y maravilloso código, para hacer un ser humano...es un triunfo mayor de la biología en las pasadas dos décadas que hemos comenzado a entender el contenido de estos libros y el lenguaje en el que están escritos.” (Citado en Kay, 2000, p.17)

En base a lo expuesto arriba se puede afirmar, en concordancia con el argumento de diversos historiadores y sociólogos de la ciencia, que el marco conceptual que ha definido una buena parte de la investigación en las ciencias de la vida en los últimos cuarenta años fue planteado en gran medida alrededor de conceptos heredados del pensamiento de científicos como Wiener y Shannon.

Teniendo en cuenta este marco de referencia, a continuación se propone un análisis de cómo los modelos morfo-genéticos de diseño se han construido alrededor de analogías orgánicas elaboradas en referencia a las representaciones informacionales de la biología.

5.8 El paradigma genético en la arquitectura

La representación de los objetos arquitectónicos como la materialización de un conjunto de reglas contenidas en un programa ha sido una de las ideas más exploradas en las prácticas de arquitectura computacional. Consecuentemente, los métodos algorítmicos de diseño han ocupado un lugar central en los modelos elaborados. En esta línea de investigación ha sido fundamental el trabajo de algunos teóricos del diseño como George Stiny, William Mitchell y Kostas Terzidis, quienes han investigado profundamente la cuestión de la codificación de la arquitectura, de su concepción a partir de sistemas formales (Figs.1-3). Aunque este tipo de exploraciones mantienen un vínculo cercano con los discursos de la información (por ejemplo, en el caso de Stiny y Mitchell, a través de su vínculo con las

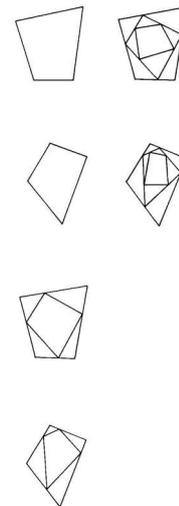


Figura 1

Mediante este ejemplo Stiny presenta un sistema de transformación de una figura geométrica, en base a reglas que se aplican de manera reiterativa a los resultados de cada paso del proceso. Fuente: *Environment and Planning B*, 1980. Vol. 7

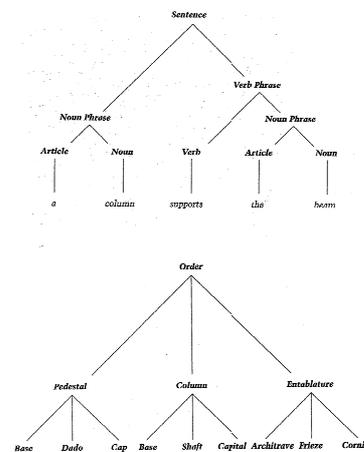


Figura 2

El trabajo de Mitchell sobre las shape grammars se informa de la concepción del lenguaje como un sistema formal, modelo que es explorado como herramienta para el estudio y la producción de la arquitectura. Fuente: *The Logic of Architecture: design, computation and cognition*, 1990. W. Mitchell

investigaciones de Chomsky sobre las gramáticas generativas lingüísticas), el interés aquí se dirige hacia otro aspecto de las aproximaciones algorítmicas al diseño. A saber, su exploración de una concepción de la arquitectura inspirada por los imaginarios cibernéticos que se encuentran en la base del desarrollo de las dos ramas de la biología analizadas arriba.

Lo anterior se comprende mejor si se tiene en cuenta que una de las ideas principales que han dirigido las exploraciones de los arquitectos digitales, ha sido la comparación de los lenguajes computacionales con los mecanismos de la herencia en los organismos y, de manera general, la concepción de los mecanismos de la naturaleza como procesos análogos a los mecanismos de la computación. En este sentido la influencia, tanto de la biología molecular, como del trabajo de notables científicos – entre ellos John von Neumann, Stephen Wolfram y John Holland, cuyo trabajo se ha situado en el límite entre la informática y las ciencias biológicas – ha sido un factor relevante para la consolidación de los imaginarios genéticos de los problemas de diseño, en el campo de la producción digital de la arquitectura.

En este punto es importante destacar que el desarrollo de estos imaginarios ha reforzado una cuestión, mencionada en el capítulo anterior, que se ha localizado en el centro del trabajo de muchos arquitectos digitales. Se trata de la fascinación que produce el potencial de la computación para generar procesos de diseño autónomos. Así, en base a la comparación entre la computación y los mecanismos de la herencia, muchas de las prácticas que se han basado en el empleo de sistemas generativos se han construido alrededor de metáforas genéticas.



Figura 3

La arquitectura algorítmica teorizada por Kostas Terzedis plantea una aproximación al diseño donde la forma resultante es el producto de un proceso programado basado en un sistema de búsqueda estocástica y de análisis de parámetros variables. Fuente: *Complexity. Design Strategy and World View*, 2008. A. Gleniger & G. Vrachliotis (Eds.).

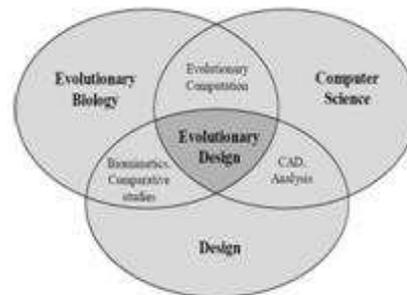


Figura 4

Mediante este diagrama, Peter Bentley ejemplifica claramente las relaciones entre la biología, la informática y el diseño. Como se ha señalado a lo largo de este capítulo, lo anterior explica que los modelos morfo-genéticos de diseño se hayan construido sobre la biologización de los problemas de la arquitectura. Fuente: *Evolutionary Design by Computers*, 1999. P. Bentley (Ed.)

Este punto es claramente señalado por Peter Bentley, cuya introducción a *Evolutionary Design by Computers* aparece como manifiesto del interés que ha suscitado la idea de utilizar las técnicas computacionales evolutivas para resolver los problemas de diseño, como si sus objetos estuvieran regidos por los mismos mecanismos desplegados por los sistemas naturales.

Para Bentley una mirada rápida a la gran cantidad de diseños extraordinarios en la naturaleza debería ser suficiente para inspirar admiración en el poder de la evolución, sea esta natural o generada por medios computacionales. Por ejemplo, Bentley afirma que “posiblemente el milagro del diseño más complejo y remarcable jamás creado – el cerebro humano – fue generado por la evolución en la naturaleza. No es solamente un diseño sorprendente en su forma terminada, sino que también, sorprendentemente, su enorme complejidad se desarrolló de una simple célula usando instrucciones contenidas en una molécula de ADN. Esta es tal vez la demostración más concluyente de todas que las técnicas evolutivas de la computación evolutiva son altamente apropiadas para los problemas de diseño.” (Bentley, 1999, p. 5)

En base a este tipo de discurso, los modelos genéticos en la arquitectura no solamente han adaptado una serie de técnicas generativas a los problemas de diseño, sino que han construido una variedad de imaginarios de los problemas disciplinares en base a metáforas biológicas (Fig.4). De este modo, por ejemplo, los algoritmos que definen un proceso de diseño han sido concebidos como el código genético de los edificios, mientras que los diseños resultantes de estos métodos han sido pensados como el producto de procesos evolutivos definidos por mecanismos de selección y adaptación. Así, en referencia directa a las metáforas informacionales en la biología, los objetos arquitectónicos han sido imaginados como la manifestación física de un código o programa, como el resultado de un sistema algorítmico de variación genética.

Para Ingeborg Rucker, el resultado de lo anterior ha sido el desarrollo de concepciones formales y espaciales alternativas “que decodifican y recodifican la arquitectura.” (Rucker, 2006, p. 25) Lo que plantea Rucker se puede interpretar como las implicaciones epistemológicas y técnicas de la elaboración de nuevos métodos de diseño. O sea, como la redefinición de las concepciones tradicionales de los problemas de la arquitectura, y el consecuente desarrollo de nuevas técnicas y conceptos que han sido inseparables del empleo de la computación en la arquitectura, de su codificación.

Crucialmente, estos cambios, propios de la construcción de los modelos morfo-genéticos de diseño alrededor de analogías biológicas, mantienen un vínculo muy cercano con los cambios epistemológicos inherentes de las elaboraciones de la arquitectura computacional analizadas en los capítulos precedentes.

Estos modelos no solamente se han inspirado de los discursos cibernéticos sobre la información (y sus implicaciones para el estudio de los organismos), sino que han empleado estas metáforas biológicas como medio de exploración de las mismas caracterizaciones cibernéticas de los problemas de diseño promovidas por los discursos del *performance* de la arquitectura. Es decir que las analogías biológicas que se encuentran en la base de estos modelos no han hecho otra cosa que reforzar los imaginarios cibernéticos/sistémicos de los objetos arquitectónicos sobre los cuales se ha construido la perspectiva computacional en la arquitectura desde sus primeras exploraciones: la concepción de los edificios como objetos *performativos*, como agentes dinámicos y altamente integrados con el medio ambiente y, desde luego, como artefactos semi-orgánicos.

El modelo elaborado por John Frazer, presentado en su popular ensayo *An Evolutionary Architecture*, constituye el mejor ejemplo de lo anterior. Este modelo – construido alrededor de metáforas sobre la codificación genética, la evolución y la adaptabilidad de la arquitectura – constituye el caso paradigmático de cómo en las elaboraciones genéticas de la arquitectura computacional confluyen la visión cibernética de los problemas disciplinares y la exploración de la computación como medio correspondiente a esta ontología.

5.9 Una arquitectura evolutiva

La descripción de la arquitectura como un sistema contenido en un programa, y su concretización por medio de un proceso computacional generativo, tiene importantes precedentes en el trabajo de arquitectos como Christopher Alexander y Bill Hillier (además de otros ya mencionados, como Mitchell y Stiny) quienes se preocuparon por definir una aproximación al diseño basada en el estudio de las relaciones dinámicas entre diversos elementos, usando conceptos y modelos importados de la lingüística, la teoría de conjuntos, el pensamiento sistémico y la computación. No obstante, fue a partir del momento en que se comenzó a experimentar, especialmente en las universidades británicas, con técnicas de simulación heredadas de la biología computacional, como la programación genética y evolutiva, que empezaron a desarrollarse nuevas visiones del diseño informadas por las concepciones informacionales del funcionamiento del organismo.

El trabajo llevado a cabo por John Frazer a partir de los años setenta en la *Architectural Association*, descrito en *An Evolutionary Architecture*, constituye el ejemplo paradigmático de la elaboración de metodologías de diseño donde confluyen el empleo de metáforas genéticas y procesos computacionales de producción de la forma arquitectónica.

Basándose en ideas sobre la representación del ADN como un conjunto de reglas codificadas en el organismo, y de la morfogénesis como un proceso gobernado por la información genética, Frazer introdujo el uso de técnicas informáticas tales como los autómatas celulares y los algoritmos genéticos en el diseño. Mediante la producción de nuevas metodologías de diseño apoyadas en el uso de de estos métodos computacionales, los conceptos arquitectónicos comenzaron a ser pensados como un sistema determinado por un conjunto de reglas generativas, cuya evolución y desarrollo podían ser codificados genéticamente.

Es interesante destacar que estas metodologías de concepción se desarrollaron en gran medida como un medio de exploración de las concepciones sistémicas de la arquitectura, que venían siendo desarrolladas desde la introducción de las tecnologías de información en el diseño. El trabajo de Frazer comparte dos aspectos que se desprenden de la concepción sistémica de los problemas de la arquitectura. En primer lugar, el modelo de Frazer es ante todo una reflexión sobre el espacio construido que comprende a una visión ecológica, en el sentido más amplio del término, de los problemas de la arquitectura. En segundo lugar, el modelo propuesto parte de concebir los objetos arquitectónicos como artefactos que comparten ciertas propiedades de los organismos (Fig. 5).

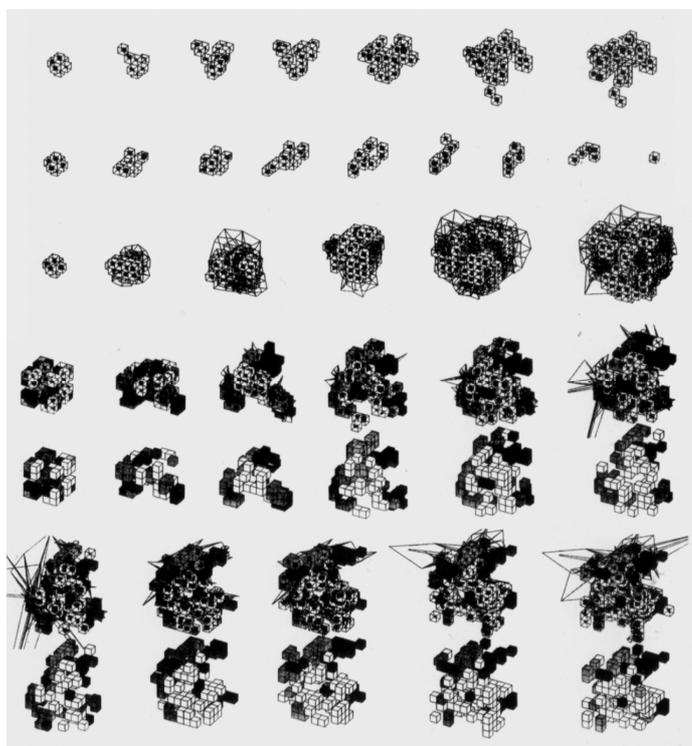


Figura 5

El proyecto "Three-dimensional self-organizing constructor", es un experimento sobre la auto-organización aplicada al diseño, basada en un sistema similar a un automata celular, donde la interacción entre las células depende de los aspectos de su crecimiento interno y su intento por copiar sus atributos. Fuente: An Evolutionary Architecture, 1995. J. Frazer.

Lo anterior aparece de manera patente en la introducción del libro de Frazer, firmada por el cibernético británico Gordon Pask,⁵³ autor del célebre artículo *The Architectural Relevance of Cybernetics*. Pask afirma que la tesis fundamental del trabajo de Frazer es que “la arquitectura es una cosa viva que evoluciona” y que las casas y las ciudades pueden ser concebidas como lo que emerge de “la vida de quienes habitan el espacio construido.” (Frazer, 1995, p. 6)

Estos dos enunciados sintetizan claramente los dos puntos que definen la propuesta de Frazer. Por un lado, se trata de una visión según la cual es posible concebir los procesos de diseño en referencia a ciertas características de los seres vivos, por ejemplo, la capacidad de evolucionar. Y, por otra parte, se trata de una concepción sistémica del espacio construido que obliga a pensar los ambientes arquitectónicos y urbanos como parte del ecosistema global.

En el trabajo de Frazer estas dos ideas fueron exploradas en referencia a dos procesos naturales, la evolución y la morfogénesis. El marco de trabajo desarrollado se enfocó en la investigación de los “procesos fundamentales de generación de la forma en la arquitectura, de manera paralela a una más amplia búsqueda científica de una teoría de la morfogénesis en el mundo natural.” (Frazer, 1995, p. 9) Los mecanismos de la naturaleza eran adoptados como el modelo para la generación de la forma arquitectónica, de modo que la arquitectura era considerada como una forma de vida artificial sujeta a “principios de morfo-génesis,

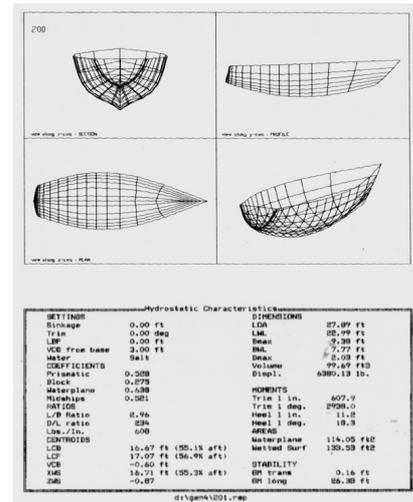


Figura 6

En este proyecto de investigación, Frazer, en colaboración con Peter Graham, emplearon un algoritmo genético para optimizar el performance de un bote, mediante la aplicación de una lógica de selección natural y artificial. Fuente: *An Evolutionary Architecture*, 1995. J. Frazer.

⁵³ Pask colaboró en múltiples proyectos con John Frazer y Cedric Price, cuyo trabajo es uno de los ejemplos paradigmáticos de la reconceptualización de los problemas de la arquitectura en relación con el pensamiento cibernético.

codificación genética, replicación y selección.” (Frazer, 1995, p. 65)

Lo anterior se reflejó en la creación de modelos arquitectónicos virtuales capaces de responder a ambientes cambiantes. Se trata de una exploración que se basó fundamentalmente en el empleo de los algoritmos genéticos como herramienta de diseño (Fig. 6). Mediante el uso de esta técnica computacional, se pretendía producir de manera generativa las manifestaciones tradicionales de un concepto arquitectónico: espacio, estructura y forma. Así, el proyecto arquitectónico, expresado como un conjunto de reglas, fue concebido como un espacio de búsqueda para la evolución y análisis de un concepto de diseño, que de esta manera era definido como un proceso.

Lógicamente, esta aproximación al diseño involucró cambios significativos respecto a los métodos de diseño tradicionales. La concepción del diseño como un proceso computacional implica definir el proyecto como un código, crear un conjunto de reglas para el desarrollo de tal código y su traducción en un modelo virtual. Además es necesario explicitar la naturaleza del ambiente respecto al cual es analizado un concepto de diseño y definir los criterios de selección que determinan la adaptabilidad del resultado.

En este sentido, el proceso de diseño es planteado en prácticamente los mismos términos propuestos por los modelos *performativos*; lo anterior en la medida que un concepto de diseño es analizado en función de su comportamiento respecto a un contexto determinado. Como se vió anteriormente, el modelo de los algoritmos genéticos plantea el estudio del desarrollo de un organismo, o la producción de un diseño, como un problema de adaptación y selección. En términos de lo planteado por el análisis de sistemas, lo anterior es análogo a la resolución de un problema mediante la observación de su *performance*.

En el método elaborado por Frazer, y en concordancia con la pragmática propia de los algoritmos genéticos, las reglas para el desarrollo del código son concebidas como un lenguaje genético que produce instrucciones para la generación de la forma, los modelos computacionales son usados para simular el desarrollo de formas prototípicas, estas formas son evaluadas en función de su *performance* o capacidad de adaptación, y los pasos evolutivos son generados rápidamente y en grandes números. Finalmente, los códigos exitosos son usados para regenerar el concepto de diseño hasta encontrar una solución, cuyo *performance* sea considerado satisfactorio, para ser producida en el mundo real.

5.10 Arquitecturas genéticas

Este modelo, donde los objetos arquitectónicos son concebidos como sistemas adaptativos que emergen de una serie de reglas codificadas en un programa, se ha convertido en uno de los paradigmas dominantes en el campo de la arquitectura computacional. Siguiendo una línea de investigación similar, muchas prácticas contemporáneas han explorado – mediante el empleo de técnicas computacionales que incluyen la programación genética, los autómatas celulares, los sistemas de Lyndenmayer y los sistemas multi-agente – enfoques de los problemas disciplinares similares a la visión promovida por el modelo de Frazer.

Entre las investigaciones que han indagado perspectivas similares en la arquitectura se puede mencionar el trabajo de profesionales y teóricos como Paul Coates, Peter Bentley, Ingebor Rocker, Michael Silver, Denis Dollens, Karl Chu y Hareesh Lalvani, entre otros, además de las influyentes exploraciones de grupos de investigación como el *Emergence and Design Group* y el *Emergent Design Group* (cuyos modelos serán analizados en el siguiente capítulo).

Todas estas prácticas comparten una concepción sistémica y bio-inspirada de la arquitectura, basada igualmente en el desarrollo de analogías sobre la codificación genética, la morfogénesis, la evolución y la adaptación (Figs. 7-8).

Un ejemplo paradigmático de lo anterior es el trabajo de investigación desarrollado por Paul Coates y sus colegas en *University College London*. Al igual que en el trabajo de Frazer, su exploración del diseño como un proceso

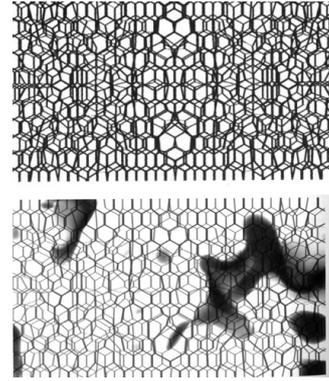


Figura 7

Este ejercicio de diseño es un ejemplo en el que una geometría es deformada en base a los patrones de crecimiento de una bacteria. Fuente: Arquitecturas genéticas II, 2005. A. Estévez (Ed.).

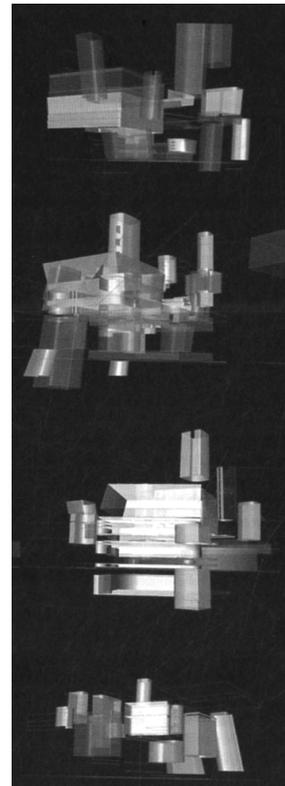


Figura 8

Imagen correspondiente a un proceso de diseño planteado por el Emergent Design Group, basado en el empleo de un lenguaje de programación genética. Fuente: Network Practices, 2007. A. Burke & T. Thierney (Eds.)

generativo se ha definido alrededor del desarrollo de metáforas biológicas y el empleo de una variedad de técnicas computacionales de diseño (Fig. 9).

Por ejemplo, en un estudio de caso basado en el uso de autómatas celulares, Coates y sus colegas describen el proceso de diseño desarrollado como “información codificada en la forma de estados de transición entre células en una matriz tridimensional”. Aquí las células del autómata celular se parecen a las células de un organismo en dos sentidos: “[p]rimero, el comportamiento y la forma material del organismo son controlados por instrucciones codificadas en todas las células del organismo en desarrollo. Segundo, la información inicial, o estructura genética, expresada en el autómata celular, como la combinación de la configuración inicial de la célula y como un conjunto de reglas de transición, consiste en una serie de instrucciones que controlan solamente las transiciones locales entre las unidades, requiriendo un sistema generativo discreto para convertir la información unidimensional en una forma tridimensional.” (Coates, et al., 1996, pp. 2-3)

En este caso las reglas que dirigen un diseño son consideradas como las instrucciones en el código genético, los edificios son representados como organismos y sus elementos como las células que lo constituyen. Para Coates el resultado de una metodología de diseño basada en el análisis paralelo y no lineal de información, y en la introducción de una estructura genética en la concepción de la arquitectura, es considerar el objeto arquitectónico como un fenómeno emergente. Es decir que el edificio es pensado como el producto de la interacción a diversos

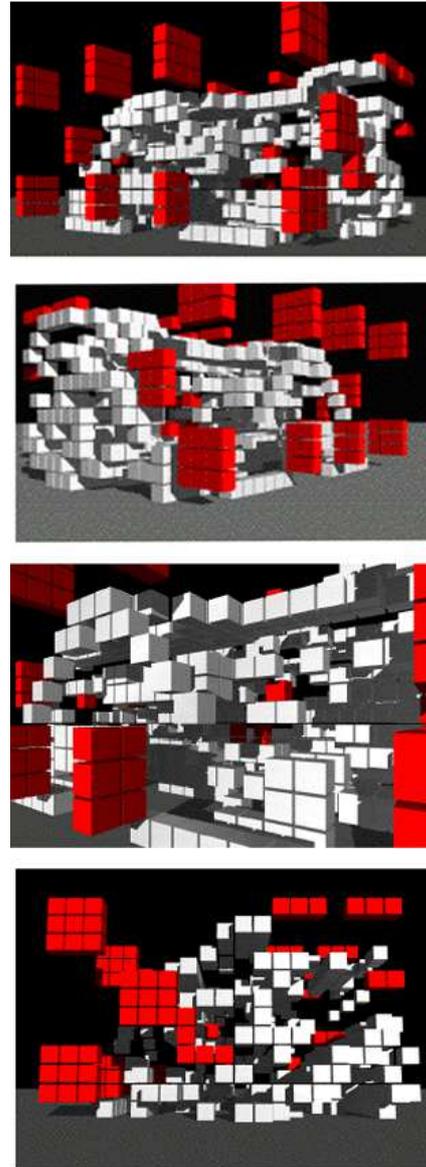


Figura 9

Imágenes correspondientes a un experimento de diseño generativo, basado en el empleo de una matriz tridimensional de autómatas celulares que cambian de estado en función de una serie de reglas simples. Fuente: The Use of Cellular Automata to Explore Bottom Up Architectonic Rules, 1996. Coates et al.

niveles entre sus elementos, proceso del cual surge una totalidad organizada. En este sentido los resultados de un proceso de diseño computacional son considerados literalmente “como formas de vida artificial, no como emulaciones o representaciones de la vida.” (Coates, et al., 1996, p. 3)

Esta es una idea que ha ganado cada vez más terreno en el campo del diseño digital. Por ejemplo, en una entrevista con Michael Silver, Evan Douglass plantea una idea muy cercana a la promovida por Coates sobre la visión de la arquitectura como una forma de vida artificial. Douglass afirma que, teniendo en cuenta el creciente conocimiento sobre el funcionamiento de la naturaleza y las oportunidades que ofrecen las nuevas tecnologías, la arquitectura debería definir una ambiciosa agenda orientada a “las nuevas posibilidades de dar vida a la arquitectura.” (Silver, 2006, p. 67) El trabajo de Silver también se ha orientado en la misma dirección, al promover la exploración de la computación como el medio para el desarrollo de sistemas arquitectónicos capaces de exhibir características de auto-organización similares a las observadas en la naturaleza (Silver, 2005).

Esta idea ha dado paso a un creciente interés por extender a los procesos de materialización de la arquitectura las nociones exploradas, en ambientes virtuales, mediante las técnicas de diseño generativo. Al fin y al cabo, de la concepción del funcionamiento de los organismos como un sistema de información codificado genéticamente se desprende que la materia también es computable.

Este ha sido el problema planteado por una serie de exploraciones que han imaginado escenarios en los que no son solamente los procesos de diseño los que son concebidos como sistemas auto-organizados, sino que es la construcción material del espacio la que ha sido imaginada como un proceso autónomo y teleológico. El interés reciente de los arquitectos digitales por las biotecnologías y otros campos de investigación, como la ciencia de materiales, apunta en este sentido. El origen de esta inquietud aparece claramente expuesto en ciertas prácticas que, desde el paradigma genético, han promovido una concepción del *performance* de la arquitectura que constituye una nueva forma de utopía en la profesión. De este modo se han construido imaginarios sobre la posibilidad de generar, gracias a los avances tecnológicos, arquitecturas evolutivas y literalmente vivas.

Aquí la arquitectura es concebida como un campo disciplinar preocupado por problemas análogos a los definidos por la agenda de investigación de la biología molecular.⁵⁵ Desde esta perspectiva Lalvani ha pensado la arquitectura como un universo morfológico compuesto, en su esencia, por un conjunto de variaciones infinitas (Fig.11) La computación, considerada como un medio análogo en sus operaciones a los mecanismos genéticos, aparece por lo tanto como el medio necesario para explorar y modificar este universo. Se trata de un universo que para Lalvani es “infinito y abierto, con una jerarquía fractal compuesta de niveles dentro de niveles recursivos, a través de los cuales uno puede acceder y navegar de diversas maneras desde cualquier nivel. Este es un universo donde cada estructura (y cada tipo de arquitectura) puede transformarse en otra en un continuo de espacio y tiempo, dentro y entre niveles.” (Lobell, 2006, p. 58)

Para el autor de *Genomic Architecture*, las aproximaciones genéticas y algorítmicas en la arquitectura, incluyendo su trabajo de investigación, señalan un cambio en el empleo de la informática, donde el computador deja de ser una herramienta de trabajo para convertirse en “una máquina inteligente para la resolución de problemas...una entidad capaz de creatividad independiente.” (Lobell, 2006, p. 58)

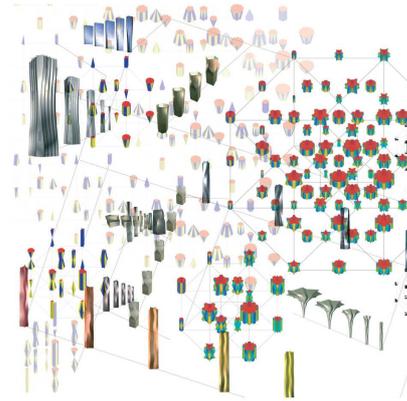


Figura 11

En esta investigación sobre la forma de una columna aparece claramente representada la visión de Lalvani de la arquitectura como un universo morfológico de infinitas variaciones. Fuente: AD, 2006. Vol 76 – 4.

⁵⁵ Lalvani afirma que “[e]l genoma morfológico es un modelo experimental para el mapeo de otros genomas. Este está compuesto de genes morfológicos (morfo genes), donde cada gen especifica una familia de parámetros relacionados, y cada parámetro es controlado por una única variable de la forma equivalente a una «base» en el ADN. Estamos trabajando sobre esta estructura universal de la forma, similar a la estructura del ADN de Crick y Watson, mapeándola y manipulándola en su nivel genético.” (Lobell, 2006, p. 58)

En relación con lo anterior Lalvani imagina escenarios de diseño cuyo objetivo sería la auto-morfogénesis. Pero en este caso no se trata solamente del desarrollo de procesos automatizados de diseño, sino de una visión de la arquitectura “que se diseña a si misma físicamente... a partir de formas codificadas, procesos [y] materiales.” (Lobell, 2006, p. 61)

En la descripción de su proyecto *The Milgo Experiment*, Lalvani presenta su trabajo como el intento por definir un código universal para manipular cualquier tipo de forma, sea esta natural o artificial (Lobell, 2006, p. 59). De este modo se considera que, una vez mapeadas todas las morfologías posibles, la dicotomía natural-artificial dejaría de existir como una oposición dialéctica para fusionarse en una sola cosa (Horn, 2008, p. 517).

Varios de los puntos centrales del proyecto de Lalvani apuntan en una dirección en la que muchas ideas exploradas en el campo de la arquitectura computacional compiten con frecuencia con los imaginarios construidos en el ámbito de la ciencia ficción (Kolarevic, 2012). La idea de atribuir a los objetos diseñados el carácter evolutivo y auto-organizado de los procesos computacionales de diseño ha constituido sin duda el tema central de las visiones utópicas de la arquitectura digital. Alrededor de esta idea, en este campo han proliferado imaginarios sobre arquitecturas que crecen, se reproducen y auto-organizan su desarrollo (Fig.12).

Llevando a los límites del paroxismo esta idea, algunos arquitectos, entre ellos Lalvani, han propuesto visiones prospectivas de las implicaciones de concebir la arquitectura como un sistema capaz de exhibir las capacidades generativas de los organismos. En la línea



Figura 12

El trabajo de Hernan Diaz Alonso, por ejemplo, se inserta dentro de esta tradición, en la que los objetos arquitectónicos exploran imaginarios formales correspondientes a los procesos computacionales que les dan forma. El resultado es una estética de lo emergente, de lo que crece y se reproduce. Fuente: <http://xefirotarch.com/current/index.php/helsinki-library>

de las ideas expuestas en *An Evolutionary Architecture*, varias prácticas contemporáneas han elaborado ficciones arquitectónicas alrededor de la idea de producir edificios literalmente vivos, y han imaginado escenarios en los cuales las bio-tecnologías se perfilarían como medio para alcanzar la auto-concepción y auto-construcción del espacio habitable.

Por ejemplo, partiendo de la exploración de sus ideas sobre el genoma morfológico de la arquitectura, el discurso de Lalvani deriva en visiones de un futuro en el que los objetos arquitectónicos se convertirían en seres completamente autónomos, poniéndole de paso un punto final a la profesión de la arquitectura. De acuerdo a la visión expuesta en *Genomic Architecture*, “[l]os edificios crecerían, responderían, se adaptarían y se reciclarían, se auto-ensamblarían y auto-organizarían, recordarían y tendrían conciencia, evolucionarían, se reproducirían y morirían. La arquitectura orgánica, si llegara a alcanzar la biología, se diseñaría a sí misma. También se perpetuaría a sí misma. La arquitectura se convertiría en «vida», y paradójicamente, los edificios no necesitarían nunca más a los arquitectos. La arquitectura orgánica, en este escenario extremo, también definiría el final de la arquitectura (como la definimos ahora).” (Lalvani, 2005)

Ideas muy similares han sido expuestas por Karl Chu, quien ha sido sin duda el más visible promotor de las visiones utópicas de la arquitectura genética.⁵⁶ Chu ha planteado el uso conjunto de la computación y la biogenética con el fin de reorganizar el mundo a partir de principios generativos (Fig. 13). Esto mediante la manipulación de lo que él llama “la reserva escondida de la vida”, o sea, el código genético (Chu, 2006, p. 39). De esta manera Chu insiste en la comparación entre la computación y los mecanismos de la herencia.

De hecho Chu sostiene que esta idea se relaciona directamente con los orígenes de la informática,⁵⁷ una disciplina que, según él, surgió no solamente con el objetivo de recrear la razón instrumental en una máquina abstracta, sino con “el objetivo de codificar la lógica de la vida y el mundo.” (Chu, 2006, p. 40).

⁵⁶ El trabajo de Chu también es interesante en este contexto porque, más allá de su carácter utópico, refleja claramente como las visiones morfo-genéticas en la arquitectura computacional se han asociado con una serie de conceptos genéticos que se relacionan directamente con la lógica de la informática, especialmente con la noción de reescritura. En referencia a lo anterior Chu explica que a través del concepto central de reescritura, su modelo se relaciona, implícitamente, con la hermenéutica genética de la arquitectura de Eissenman y, explícitamente, con las arquitecturas algorítmicas de Frazer y Balmond.

⁵⁷ Al respecto Chu afirma, en coincidencia con un argumento aquí expuesto antes, que la visión informacional del mundo promulgada por la cibernética ha sido reforzada por la formalización, paralela al desarrollo de la computación, del ADN como un código.



Figura 13

Los experimentos llevados a cabo por Chu se basan en la aplicación de operaciones propias de la programación, como la copia y la repetición, que para Chu señalan un profundo vínculo entre los mecanismos genéticos y la computación. Esto se refleja claramente en el carácter fractal de sus diseños. Fuente: Designing for a Digital World, 2002. N. Leach.

Partiendo del principio que la computación encarna la ambición última de crear sistemas inteligentes, sea a través de máquinas abstractas o mediante la “mutación bio-maquínica de sustancias orgánicas e inorgánicas” las ideas de Chu se basan en una visión informacional del mundo, inspirada en teorías como las expuestas por el científico norteamericano John Wheeler, para quien cada objeto en el universo tiene una fuente inmaterial que es información (de lo cual se desprendería que todos los procesos, incluidos los procesos físicos, pueden ser entendidos como formas de computación).

Chu sostiene que con la convergencia de la computación y la bio-genética avanzamos hacia una nueva era post-humana. Esta nueva condición implicaría el desplazamiento del reino de la antropología y, en consecuencia, “la potencial emancipación de la arquitectura de la antropología” (Chu, 2006, p. 41). De este modo surge la oportunidad de pensar en una arquitectura autónoma y con voluntad de ser, que el autor llama “xenoarquitectura”. Se trata de una concepción de la profesión, informada por las teorías de Leibniz y de la teoría algorítmica, que se adecúa “a las exigencias impuestas por la computación y la revolución biogenética.” (Chu, 2006, p. 42).

De este modo el mito de la información desplazaría eventualmente al mito de la materia en la arquitectura. Transformando la definición de la arquitectura propuesta por Mies Van de Rohe

como el arte de ensamblar dos ladrillos, Chu plantea una nueva definición basada en el arte de poner “dos bits juntos...bits que son programados para auto-replicarse, auto-organizarse y auto-sintetizarse en nuevas constelaciones de relaciones y conjuntos.” (Chu, 2006, p. 42).

5.12 *Los maginarios genéticos y el zeitgeist digital*

La anterior es la imagen de una arquitectura inspirada en la noción de replicación, implícita en el concepto de genética, y fundamental en los procesos computacionales. Chu sostiene que “[i]mplicita dentro del concepto de genética está la idea de la replicación de unidades heredables en base a alguna regla inherente dentro del código genético, e incluida dentro del mecanismo de replicación hay una función generativa: la lógica autorreferencial de la recursión. La recursión es una función o regla que se llama repetidamente a si misma o a su estado previo aplicando la misma regla repetidamente, generando así una propagación autorreferencial de una secuencia o una serie de transformaciones. Es esta lógica, codificada dentro de un principio interno, que constituye la autonomía de lo generativo que se encuentra en el corazón de la computación.” (Chu, 2006, p. 45).

En relación con estos modos de operación, el autor de *Metaphysics of Genetic Architecture and Computation* imagina, al igual que en algunos de los ejemplos citados antes, una arquitectura capaz de diseñarse y perpetuarse a sí misma, a la manera de los autómatas capaces de reproducirse imaginados por von Neumann.

En este sentido discurso de Chu es característico de cómo las arquitecturas genéticas aparecen como ejemplo paradigmático de la concepción de los problemas de la arquitectura en base a la ontología cibernética. Por lo tanto, lejos de constituir un caso aislado, las visiones utópicas de la arquitectura genética son sumamente representativas del *zeitgeist* digital. Estas visiones son distintivas de la exploración, en el campo del diseño computacional, de una serie de aspectos íntimamente relacionados con el paradigma informacional: la concepción del diseño como un proceso no-lineal, de los edificios como sistemas auto-regulados y auto-organizados, y la posibilidad de producir arquitecturas fundadas en el carácter computacional e informacional propio de los fenómenos naturales.

5.13 Conclusión

En la primera parte del capítulo se ha mostrado cómo la analogía entre los sistemas computacionales y los mecanismos de la herencia ha sido, en gran parte, el producto de una relación de retroalimentación entre el desarrollo de la informática y de las visiones informacionales en la biología, relación que refleja una evidente ontologización de los discursos cibernéticos sobre la información.

En base a este análisis, se ha propuesto que esta ontologización también se encuentra en el centro de los modelos genéticos de diseño. Profundamente influenciadas por la concepción de los mecanismos de la herencia como un sistema de información, estas prácticas no sólo han adoptado una pragmática informacional, propia de los sistemas algorítmicos empleados, sino que han promovido una epistemología del diseño fundada en metáforas biológicas sobre la programación genética, la evolución, la adaptación, etcétera.

Crucialmente, estas elaboraciones han reforzado una serie de aspectos inherentes a las construcciones cibernéticas de la arquitectura analizadas en los capítulos precedentes: su concepción del diseño como un proceso sistémico y no lineal, de los edificios como artefactos auto-regulados, e igualmente su aspiración de producir arquitecturas fundadas en el carácter comunicacional propio de los fenómenos naturales.

Además de reforzar la biologización de la arquitectura propia de las visiones cibernéticas, la concepción del diseño como un problema de información codificada también ha despertado un gran interés alrededor de la posibilidad de articular los procesos generativos de diseño con los procesos de materialización de la arquitectura. Ha sido alrededor de este proyecto que se han construido una serie de visiones utópicas del ejercicio de la profesión, desde las cuales se han imaginado escenarios en los que las nuevas tecnologías permitirían a la arquitectura eventualmente alcanzar la biología.

En este sentido, las arquitecturas genéticas imaginadas por Frazer y sus seguidores aparecen como el fermento de una “nueva” dimensión en la comprensión de los problemas de la arquitectura. Se trata de una tendencia que ha encontrado, en las ideas vehiculadas por la ciencia de la complejidad, el paradigma de una arquitectura radicalmente emergente, concebida como un fenómeno complejo que surge de la interacción entre múltiples elementos, incluidos sus aspectos materiales, este es el tema del siguiente capítulo.

6. Fenómenos complejos

6.1 Resumen

En la década de 1980 se consolidó un nuevo modelo científico que se definió a partir del objetivo de establecer un marco teórico general para el estudio de ciertos fenómenos, definidos como sistemas complejos, caracterizados por estar compuestos de múltiples elementos cuya interacción da origen a formas complejas de organización. Conocido como ciencia, o teoría de la complejidad, este modelo científico surgió de la intención de desarrollar una teoría unificada para estudiar este tipo de fenómenos en campos diversos como la física, la economía, la biología y la informática.

Desde una perspectiva sistémica, el pensamiento de la complejidad ha promovido una agenda de investigación basada en una visión holística de sus objetos de estudio, concebidos como fenómenos emergentes y auto-organizados. Al igual que la teoría de sistemas, este modelo se planteó en oposición a la tradición de pensamiento lineal en la ciencia, y su agenda de investigación ha reforzado la concepción del mundo como un vasto sistema de sistemas organizados. La teoría de la complejidad se inscribe entonces dentro de una tradición de pensamiento de la cual hacen parte, además de la teoría de sistemas, la cibernética, la cibernética de segundo orden y las teorías de la auto-organización.

En el campo del diseño computacional, las ideas promovidas por este modelo científico han constituido la principal referencia para una serie de prácticas recientes que, en correspondencia con la definición de los sistemas complejos, han explorado una concepción de la arquitectura como un fenómeno emergente y auto-organizado. El objetivo de este capítulo es mostrar de qué manera estas nociones centrales del pensamiento de la complejidad, han sido cruciales para la elaboración de nuevos marcos teóricos y metodológicos en la arquitectura, aquí catalogados como modelos emergentes.

De acuerdo con este objetivo, en la primera parte del capítulo se propone una mirada a las ideas centrales promovidas por el pensamiento de la complejidad, y su relación con el pensamiento cibernético. En base a este análisis, en la segunda parte se analiza cómo, alrededor de estas ideas, se han desarrollado nuevos modelos de proyectación, en los que los procesos algorítmicos de producción de la forma arquitectónica han sido pensados en

términos de la generación de un sistema complejo. Esta aproximación ha sido explorada junto a la concepción de las propiedades materiales de la arquitectura como un generador activo en el diseño.

Este último aspecto, fundamental en los modelos emergentes, ha sido pensado en torno a la concepción los procesos de formación de la arquitectura como un fenómeno análogo a la visión del desarrollo orgánico como un sistema auto-organizado, y a la consideración, en la ciencia de la complejidad, de los procesos materiales auto-organizados como una forma de computación física. En este sentido los modelos emergentes han investigado una nueva dimensión del concepto de computación en el diseño arquitectónico.

Como se verá, estas elaboraciones de la arquitectura han promovido una ontología y una epistemología del diseño que coincide en varios aspectos con las construcciones *performativas*, sistémicas y genéticas de la arquitectura, examinadas en los capítulos anteriores. En este sentido el análisis aquí planteado pretende situar los modelos emergentes dentro de la tradición de las construcciones cibernéticas de la arquitectura computacional.

6.2 El pensamiento de la complejidad

Aunque la teoría de la complejidad se consolidó como un campo de investigación en los años ochenta del siglo pasado, sus orígenes pueden buscarse en una serie de desarrollos científicos ocurridos a partir del periodo de posguerra en Estados Unidos. De hecho algunos autores consideran el artículo *Science and Complexity* de Warren Weaver, publicado en *American Scientist* en 1948, como el momento inaugural del pensamiento de la complejidad. En *Science and Complexity* Weaver esboza lo que se convertiría en el tema central de este modelo: para el autor era claro que en el estudio de ciertos fenómenos naturales el factor central no era el número de variables analizadas, sino el hecho que estas estuvieran interconectadas.

El tipo de fenómenos a los cuales se refería Weaver, definidos como problemas de complejidad organizada, eran aquellos que “envuelven un gran número de factores que están organizados dentro de un todo orgánico.” (Weaver, 1948, p. 537) La complejidad organizada, de acuerdo a Weaver, es la característica de los sistemas en los que los elementos siguen reglas específicas y a través de sus interacciones crean un macro-comportamiento o un patrón de organización a través del tiempo (Citado en Johnson, 2001, p.48).

Steven Johnson, autor del célebre ensayo *Emergence. The connected lives of ants, brains, cities and software*, considera que las ideas sobre los fenómenos complejos promovidas por Weaver nacieron como el producto de un cambio de paradigma en la ciencia resultante de una serie de cambios epistemológicos y tecnológicos.

Entre los desarrollos que anteceden a las ciencias de la complejidad se puede mencionar el trabajo de figuras como Claude Shannon (cuya teoría de la comunicación permitió estudiar en las ciencias biológicas fenómenos análogos a la retroalimentación y el reconocimiento de patrones), Norbert Wiener (padre de la cibernética), Edward O. Willson (quien estudió en las hormigas cuestiones como el reconocimiento de patrones y la coordinación del comportamiento global), Ilya Prigogine (pionero del estudio de la termodinámica de los sistemas alejados del equilibrio), Oliver Selfridge (pionero en el campo de la inteligencia artificial) y John Holland (cuya agenda de investigación sobre el comportamiento emergente y adaptativo se convertiría en gran medida en la agenda de investigación del *Santa Fe Institute*) (Johnson, 2001, Waldrop, 1992).

En base a estos y otros desarrollos en diferentes campos del conocimiento, la ciencia de la complejidad empezó a consolidarse como un campo de investigación bien definido a principios de los años ochenta gracias a los esfuerzos de un grupo de reconocidos científicos. A partir de una iniciativa del físico George Cowan, el grupo se planteó crear un espacio para la investigación interdisciplinar basado en un nuevo paradigma científico. Cowan aspiraba a crear un centro de investigación fundado en una visión holística de la ciencia (opuesta a las aproximaciones reduccionistas y fragmentadas de la ciencia clásica) apoyándose en el uso de la computación para el estudio de los fenómenos complejos.

Este proyecto se concretaría pocos años después con la fundación del *Santa Fe Institute*. Partiendo de la certeza de tener las herramientas matemáticas y tecnológicas necesarias para el desarrollo de tal paradigma – y empleando desarrollos en el estudio de las redes neuronales, la ecología, la inteligencia artificial y la teoría del caos –, el objetivo central del modelo propuesto era definir leyes generales para explicar diversos fenómenos considerados como problemas isomórficos. El interés se centraba en aquellos fenómenos que comparten una capacidad para estructurarse en base a masas de elementos simples, que interactúan

entre ellos sin la intervención de un organismo de control central y de los cuales surgen formas complejas de organización.⁵⁸

Desde una perspectiva muy similar a la planteada algunos años antes por Ludwing Von Bertalanffy y sus colegas de la *Society for General Systems Research*, el modelo propuesto partía de considerar los fenómenos estudiados como sistemas, de la necesidad de establecer una agenda de investigación que debía permitir el desarrollo de una ciencia unificada para explorar los isomorfismos entre diferentes fenómenos, y romper con la tradición de pensamiento lineal en la ciencia occidental.

Este último punto es fundamental, pues un aspecto central de los modelos elaborados en el seno del *Santa Fe Institute* ha sido la descripción de los sistemas complejos a través de la teoría de las dinámicas no-lineales.⁵⁹ Según Waldrop, la exploración de la dinámica no-lineal de los sistemas complejos enfrentó a los científicos con el hecho que en este tipo de fenómenos, a diferencia de los sistemas lineales en los que el todo es igual a la suma de las partes, el todo puede ser mayor que la suma de las partes (Waldrop, 1992, p. 65)

De hecho, una de las preguntas que han dirigido la agenda de investigación del pensamiento de la complejidad es la cuestión de cómo el universo, gobernado por una tendencia natural al desorden, es a la vez el escenario de la creación de múltiples estructuras organizadas en todos los niveles (Waldrop, 1992, p. 10) En relación con esta pregunta fundamental, algunos de los temas de estudio que han ocupado a los pensadores de la complejidad incluyen, entre otros fenómenos considerados isomórficos, la capacidad de las células para producir la vida, la interconexión de las neuronas para dar origen al pensamiento y a la conciencia, la producción de comportamientos físicos complejos a partir de partículas simples, o la organización espontánea de diversas estructuras complejas como las galaxias, las estrellas y los huracanes (Waldrop, 1992, p. 16). Estos problemas de investigación constituyen el mejor ejemplo de la visión que subyace al pensamiento de la complejidad. Aquí el mundo aparece como un vasto sistema de sistemas interconectados que organizan su propia estructura a partir de la interacción en diversos niveles de sus componentes.

⁵⁸ Refiriéndose al carácter interdisciplinar de esta aproximación, Johnson recuerda que desde esta perspectiva se han analizado fenómenos como la dinámica de las ciudades, el funcionamiento de la economía, las redes neuronales y la adaptación y el desarrollo en los organismos vivos (Johnson, 2001, p. 18).

⁵⁹ Entre los antecedentes del empleo de esta aproximación en el estudio de los sistemas complejos se encuentra el trabajo de Prigogine sobre los sistemas auto-organizados (governados por dinámicas no-lineales), la teoría del caos (que promovía una visión de sistemas interconectados donde los más pequeños eventos producen efectos enormes) y el estudio de la ciencia no-lineal promovido por el *Center For Nonlinear Science* fundado en Los Alamos. De acuerdo a Waldrop, Cowan creía que detrás del tipo de procesos estudiados en estos tres ámbitos había una unidad, que estos eran aspectos comunes a diversos fenómenos (Waldrop, 1992, p.67).

El interés en este tipo de fenómenos ha venido de la mano con la capacidad de la computación para realizar grandes cantidades de cálculos y de analizar problemas que, según Weaver, tienen más que ver con patrones desarrollándose en el tiempo que con estructuras estáticas (Johnson, 2001, p. 49). Por lo tanto la computación ha constituido un aspecto clave en la agenda de investigación de la ciencia de la complejidad, convirtiéndose en una disciplina intermedia entre las ciencias teóricas y las ciencias experimentales, que ha permitido a los científicos ver sus ecuaciones (teorías) desplegando patrones (experimentos) que de otro modo no podrían predecirse (Waldrop, 1992, p. 76).

Pero, más importante aún, la computación no ha sido considerada únicamente como una herramienta útil para el estudio de los fenómenos complejos, sino como un campo de estudio ligado a los problemas de la ciencia de la complejidad. Para Murray Gell-Mann la idea de estudiar fenómenos que podían ser modelados gracias al empleo de la computación no respondía solamente al hecho que ésta permitía modelar sistemas complejos, sino a que los ordenadores eran considerados como un ejemplo de este tipo de fenómeno (Waldrop, 1992, p. 76).

6.3 Sistemas Complejos

En la base de la construcción de los isomorfismos señalados arriba se encuentra el concepto de sistema complejo. De acuerdo con la definición propuesta por Holland, los sistemas complejos son fenómenos en los que la materia, la energía y la información se mezclan en ciclos complejos (por ejemplo, las ciudades, el sistema nervioso y los ecosistemas). La segunda característica fundamental de los sistemas complejos es su dependencia de una gran cantidad de interacciones entre elementos simples, de las cuales surgen totalidades que son más que la suma de las partes individuales que conforman el sistema (Holland, 2004, pp. 17-20).

Al respecto Waldrop agrega que es “la riqueza de estas interacciones” lo que permite al sistema “producir su auto-organización espontánea.” (Waldrop, 1992, p. 11) Este punto es importante pues, como lo señala el autor de *Complexity*, un aspecto central de los sistemas complejos es su carácter auto-organizado, es decir, se trata de procesos que ocurren sin que estos sean definidos por un sistema jerárquico de control, como es el caso en un ecosistema.

De acuerdo con lo anterior, un fenómeno es considerado como un sistema complejo cuando este es el resultado de un grupo de elementos en interacción que logran trascender su carácter individual, adquiriendo así propiedades colectivas como la vida y el pensamiento. Lo anterior se relaciona con el carácter adaptativo y dinámico de los sistemas complejos, considerados como sistemas capaces de convertir las condiciones de su contexto en su propia ventaja y, gracias a su carácter dinámico, pueden establecer algún tipo de balance entre el orden y el caos. Se trata del punto “en el que los componentes de un sistema nunca parecen en su sitio sin tampoco disolverse en la turbulencia.” (Waldrop, 1992, p. 12)

Teniendo en cuenta estas características de los sistemas complejos, estos han sido modelados según cuatro principios: el primero es que los sistemas complejos adaptables son fenómenos compuestos por elementos cuyas interacciones son descritas en términos de reglas. El segundo es que tales elementos se adaptan cambiando sus reglas mediante la acumulación de experiencias. El tercero afirma que puesto que el medio ambiente de un sistema complejo está constituido por otros elementos en un constante proceso de adaptación, los esfuerzos de adaptación de un sistema complejo son esfuerzos por adaptarse a otros sistemas adaptables. En consecuencia, esta es la cuarta premisa, los patrones que generan un sistema complejo son patrones en cambio permanente (Holland, 2004, p. 25).

Estos cuatro enunciados resumen bastante bien las premisas centrales del pensamiento de la complejidad. En primer lugar, la definición de sus problemas de investigación como fenómenos que emergen de la interacción, dirigida por reglas simples, de los elementos que constituyen un sistema. En segundo lugar, la consideración que el resultado de estas interacciones es la auto-organización de los sistemas complejos. Y, finalmente, la idea que al estar inmersos en una red de relaciones con otros sistemas, los sistemas complejos deben adaptarse permanentemente a los cambios en su medio ambiente; como el medio ambiente de un sistema está constituido por otros sistemas adaptables, no se habla de la evolución de un sistema sino de la co-evolución de todos los sistemas que se encuentran interconectados.

Alrededor de estas ideas, diversos científicos han venido desarrollando una agenda de investigación multidisciplinar – los campos de investigación incluyen la economía, la biología y la computación – basada en la exploración del carácter emergente y auto-organizado de los fenómenos complejos.

6.4 Emergencia y Auto-organización

Como se ha visto, la premisa de base del pensamiento de la complejidad es que los sistemas complejos surgen, o emergen, de la interacción entre los elementos que los componen. Si la emergencia de algún tipo de organización es el resultado de las interacciones internas entre los elementos de un sistema, y no el producto de un mecanismo de control externo, se considera que el sistema es auto-organizado.

La noción de emergencia está estrechamente vinculada con dos aspectos centrales en el pensamiento sistémico. Primero, con la idea que las totalidades tienen propiedades distintivas que surgen de procesos de interacción sucesiva entre diferentes niveles de organización; de lo anterior se desprende que las propiedades de un sistema no pueden ser deducidas de sus componentes analizados individualmente. Y segundo, con la idea que un sistema puede ser una forma de organización definida por la interacción entre elementos más simples y al mismo tiempo ser un componente de un sistema con un nivel de organización más alto. De este modo los fenómenos complejos aparecen como estructuras jerárquicas con niveles crecientes de complejidad (Weinstock, 2010, p. 33).

Un ejemplo citado con frecuencia para explicar el concepto de emergencia, y el carácter jerárquico de los sistemas emergentes, es el tipo de organización observado en las comunidades conformadas por los insectos sociales. La colonia de hormigas es el ejemplo típico de un sistema constituido por elementos simples, y organizado de abajo hacia arriba. Las acciones coordinadas por reglas simples de un grupo de individuos dan origen a un fenómeno con un alto nivel de organización. En este tipo de organización las acciones locales de los agentes individuales producen un comportamiento global que es la colonia (Johnson, 2001, p. 74).

El carácter dinámico de la emergencia es un aspecto fundamental en los modelos elaborados para el análisis de los fenómenos complejos. En relación con este factor, dos cuestiones han sido centrales en la representación de los sistemas complejos: la consideración del comportamiento emergente como el resultado de fases de transición y la representación de los sistemas emergentes como sistemas de retroalimentación.

El concepto de fase de transición hace referencia al punto en el cual un sistema es capaz de producir algún tipo de organización lo suficientemente complejo, sin ser caótico, para ser considerado como un proceso auto-organizado y adaptativo. En este sentido Chris Langton,

pionero del campo de la vida artificial, se ha referido a los sistemas complejos como sistemas “en el borde del caos” (Waldrop, 1992, p. 12). Se consideran como sistemas en el borde del caos aquellos en los que los componentes de un sistema logran un alto nivel de organización, gracias a su capacidad para adaptarse permanentemente a condiciones cambiantes, sin perder su identidad. En otras palabras, el borde del caos hace referencia al comportamiento complejo como el punto intermedio entre el tipo de organización de un sistema con una forma de organización demasiado estática y un sistema totalmente caótico.

En referencia a esta idea, diferentes científicos, entre ellos John Holland, Stuart Kauffman, Stephen Wolfram y el propio Langton, han definido una agenda de investigación que ha promovido la idea que el procesamiento de información se encuentra en todas partes en la naturaleza. Por ejemplo Langton, basándose en el trabajo de Wolfram con los autómatas celulares⁶⁰, ha promovido la idea que existe una profunda conexión entre las denominadas fases de transición y la computación, y entre la computación y la vida. Según la hipótesis de Langton, los autómatas celulares de la clase IV identificada por Wolfram (aquellos que producen comportamientos emergentes, complejos y auto-organizados) y la vida corresponden al tipo de comportamiento dinámico resultante de las fases de transición.

La comparación entre los mecanismos de la vida y la computación señala uno de los aspectos en los que se observa el vínculo que mantiene el pensamiento de la complejidad con el paradigma cibernético. Crucialmente, el secreto del equilibrio entre el orden y el caos de los sistemas complejos se encontraría en el hecho que el comportamiento emergente se construye en base a sistemas que exhiben diferentes tipos de causalidad circular. El estudio de los fenómenos complejos como sistemas regulados por formas de causalidad recíproca (*feedback* positivo y *feedback* negativo) ha sido un aspecto esencial en el pensamiento de la complejidad.⁶¹

⁶⁰ El trabajo de Wolfram plantea la existencia de cuatro clases de autómatas celulares (AC). La clase I incluye aquellos en los que casi todas las configuraciones iniciales conducen a un estado homogéneo. La clase II constituye los que permiten la emergencia de estructuras estables o periódicas. La clase III incluye los AC que presentan un comportamiento caótico con motivos aperiódicos. La clase IV es constituida por los AC que permiten la emergencia de estructuras complejas capaces de oscilar, de moverse y de conservar su auto-organización a pesar de perturbaciones estructurales (Wolfram, 1983).

⁶¹ De hecho el trabajo de Monod y Jacob, quienes describieron el funcionamiento del ADN como un sistema cibernético, ha sido muy influyente para los modelos desarrollados en la ciencia de la complejidad. En el modelo propuesto por Jacob y Monod la auto-organización de las células se explica como el resultado de la comunicación a nivel local de los genes. “Cada célula en el cuerpo contiene un conjunto intrincado de herramientas para detectar el estado de las células vecinas y para comunicar con esas células usando varios mensajes químicos.” (Johnson, 2001, p.84) Gerald Edelman, uno de los científicos implicados en el desarrollo de las explicaciones informacionales del ADN, plantea una idea similar: “Puesto que cada célula en el cuerpo contiene una copia completa del genoma,

Considerados como sistemas de retroalimentación, el comportamiento emergente de los sistemas complejos ha sido concebido como el resultado de las conexiones en dos sentidos que fomentan mayores niveles de organización: “[t]odos los sistemas descentralizados dependen ampliamente de la retroalimentación, tanto para el crecimiento como para su autorregulación.” (Johnson, 2001, p. 133)

Lo anterior recuerda que la noción de auto-organización – que ha sido explicada como el desarrollo de un sistema a partir de inicios simples hacia niveles más altos de complejidad, y que se ha asociado con la idea que la organización emerge como consecuencia de las interacciones múltiples y complejas de los componentes de un sistema – tiene su origen en el modelo cibernético de causalidad. De hecho el concepto fue acuñado por el cibernético británico William Ross Ashby, quien lo empleó para explicar la tendencia hacia el equilibrio de los sistemas dinámicos; equilibrio que sería el resultado de la dependencia mutua entre los componentes del sistema (Ashby, 1962).

Lo mismo aparece en el influyente trabajo de Ilya Prigogine sobre la termodinámica de los sistemas alejados del equilibrio, donde las interacciones entre los componentes de un sistema, de las cuales surge su comportamiento auto-organizado, son definidas como procesos de retroalimentación. El trabajo de Prigogine se desarrolló alrededor de la idea que los sistemas rara vez son cerrados, es decir, que estos están casi siempre expuestos a flujos de energía y materia que provienen del exterior. Este flujo permanente es el que permitiría a diversos sistemas físicos y naturales revertir, aunque sea de manera temporal y localmente, la segunda ley de la termodinámica (Waldrop, 1992, p. 34).

Michael Weinstock expone claramente este punto en su extenso trabajo sobre los sistemas emergentes, *The Architecture of Emergence*. El autor afirma que “[n]ingún sistema en la naturaleza o en la civilización es cerrado, es decir, siempre hay un intercambio continuo de energía y material a través del límite del sistema. La energía y el material deben ser adquiridos del mundo físico y puestos a trabajar para construir y mantener el sistema...La presencia o ausencia de *feedback* negativo y positivo es crítica para todos los sistemas, como lo son las condiciones del límite del sistema y las relaciones con un ambiente que se encuentra al exterior de esos límites.” (Weinstock, 2010, p. 36).

ninguna célula necesita esperar instrucciones de una autoridad; cada célula puede actuar de acuerdo a su propia información y de las señales que recibe de sus vecinos.” (Citado en Johnson, 2001, p.86)

Concebida como el resultado de las interacciones complejas entre los elementos que conforman un sistema, la auto-organización ha sido descrita como el resultado de dinámicas espontáneas, como las propiedades colectivas que emergen de la interacción de elementos buscando acomodación mutua, como la propiedad de los sistemas que son lo suficientemente complejos y que tienen suficiente conectividad para auto-mantenerse, o como patrones que se auto-forman y evolucionan.

En la definición de Holland de los sistemas complejos esta mecánica aparece claramente esbozada. Para Holland los sistemas complejos se auto-organizan mediante la constante revisión de sus bloques constructivos (los elementos en un nivel a partir de los cuales surge una forma de organización en un nivel más alto) en la medida que ganan experiencia. Para Holland, en un nivel profundo estos procesos son los mismos en diversos sistemas y la estrategia es la misma: una dinámica permanente de retroalimentación entre los elementos constitutivos del sistema (Holland, 2004).

En cierto modo esta definición de la auto-organización y sus mecanismos resume las ideas alrededor de las cuales se ha construido el pensamiento de la complejidad. Este pasaje resuena con las conclusiones de los primeros encuentros organizados por los promotores del estudio de los fenómenos complejos. Como lo recuerda Waldrop, allí quedó claro que “cada tema de interés tenía en su centro un sistema compuesto por muchos elementos. Estos elementos podían ser moléculas, o neuronas, o especies, o consumidores, o incluso corporaciones. Pero cualquiera que fuese su naturaleza, los elementos estaban constantemente organizándose y reorganizándose a sí mismos en estructuras más grandes por medio del choque de la acomodación mutua y la rivalidad mutua.” (Waldrop, 1992, p. 88)

Esta breve explicación de los conceptos centrales del pensamiento de la complejidad permite comprender el estrecho vínculo entre este modelo y los discursos de la información. La cercanía del pensamiento de la complejidad con la teoría de sistemas, la comparación entre la computación y la vida, la descripción del comportamiento emergente como el resultado de mecanismos de retroalimentación y la influencia de las explicaciones del funcionamiento del ADN desarrolladas por Jacob y Monod en sus modelos, son algunos de los puntos señalados aquí que dejan entrever la relación entre el pensamiento complejo y la cibernética. A continuación se propone una mirada a ciertos aspectos de esta relación.

6.5 El pensamiento de la complejidad y la cibernética

Antes se ha señalado que la noción cibernética de causalidad circular, al igual que la representación de los fenómenos en el mundo como sistemas comunicacionales, se encuentra en la base de muchos desarrollos influyentes en diferentes campos del conocimiento contemporáneo. Para Manuel De Landa, es justamente en el desarrollo de las técnicas que dieron origen al concepto cibernético de causalidad circular que debe buscarse la semilla del pensamiento de la complejidad.

De Landa sugiere que al introducir en sus investigaciones el estudio del *feedback* negativo, Norbert Wiener, y con él los ingenieros implicados en el desarrollo de la tecnología del radar, fue el pionero del pensamiento no lineal en la ciencia occidental (De Landa, 2011, p. 67). De esta manera el autor de *A Thousand Years of Nonlinear History* sitúa a Wiener como una figura clave en el desarrollo del pensamiento de la complejidad. Aquí ya se ha visto que uno de los aspectos cruciales del estudio de los sistemas complejos ha sido su descripción a través de la teoría de las dinámicas no-lineales, y que este campo de investigación se planteó, desde sus inicios, como una alternativa al modelo de causalidad lineal; noción que, como lo señala De Landa, había dominado el pensamiento occidental durante más de doscientos años (De Landa, 2011, p. 67).

El estudio de los fenómenos complejos desde una perspectiva de causalidad recíproca, como sistemas de retroalimentación (positiva y negativa), es solamente uno de los aspectos en los que se percibe la estrecha conexión entre el pensamiento cibernético y la ciencia de la complejidad. Varios autores (van Dijkum, 1997; Ramage & Shipp, 2013; Alhadeff-Jones, 2008; Le Moigne, 1996) han explicado cómo la ciencia de la complejidad se ha construido en base a varios conceptos heredados de la cibernética y la teoría de sistemas.

Por ejemplo, Ramage, Chapman y Bissell destacan, en un reciente número de la revista *Kybernetes*, que la relación entre la cibernética y la teoría de la complejidad es un tema de discusión actual y que “[e]xiste un claro camino histórico desde los inicios de la cibernética a la teoría de la complejidad.” Según los autores “[m]uchas de las ideas centrales de la teoría de la complejidad – auto-organización, emergencia, adaptación – son tomadas directamente de la cibernética” (Ramage, et al., 2013, p. 1). Entre los aspectos remarcables de este vínculo se destacan el origen cibernético del concepto de auto-organización, acuñado por William Ross Ashby, la estrecha relación entre el trabajo de Stuart Kauffman y las investigaciones de Warren

McCulloch, y el influyente trabajo de Ilya Prigogine, reconocido como un aporte importante para el desarrollo del paradigma cibernético por la *World Organisation of Systems and Cybernetics* (Ramage, et al., 2013, p. 1).

La conexión entre el pensamiento cibernético y el pensamiento de la complejidad también ha sido señalada por Jean Louis Le Moigne, quien ha sugerido que las conferencias de Macy fueron determinantes para la legitimación de una tendencia de investigación que proveyó una poderosa fundación pragmática a la idea de complejidad (Le Moigne, 1996). Michel Alhadeff-Jones por su parte sostiene que la teoría de la información contribuyó a explicar el fenómeno de la complejidad organizada, conceptualizado por Warren Weaver, como la reducción de la entropía que se observa cuando un sistema convierte en algún tipo de orden la energía (o información) que obtiene del exterior (Alhadeff-Jones, 2008).

A estos antecedentes se debe sumar la cercana relación que mantuvieron algunos de los promotores del pensamiento de la complejidad con el modelo cibernético. Además de la bien conocida relación entre Stuart Kaufman y Warren McCulloch, cabe recordar que Warren Weaver, autor de *Science and Complexity*, escribió la introducción de la teoría de la comunicación de Shannon, y que otras figuras centrales en el desarrollo del pensamiento de la complejidad se educaron bajo la influencia de las ideas cibernéticas: el economista William B. Arthur se formó en el campo de la investigación de operaciones, mientras que John Holland y Oliver Selfridge fueron estudiantes de Norbert Wiener.

Entre los antecedentes del pensamiento de la complejidad también se cuentan los desarrollos en varios campos directamente vinculados con la cibernética: la teoría de autómatas y las redes neuronales, la investigación de operaciones, la teoría de sistemas y las teorías de la auto-organización.

En lo que concierne a la teoría de autómatas, Alhadeff-Jones plantea que este modelo – desarrollado a partir del principio que este tipo de sistemas funcionan por medio de operaciones que pueden ser entendidas en términos abstractos como un conjunto de *inputs*, *outputs* y reglas de operación – habría “contribuido a una nueva percepción de la complejidad organizada cuando esta fue enriquecida por el trabajo de McCulloch y Pitts sobre las redes neuronales...y por el trabajo de von Neumann sobre la auto-reproducción.” (Alhadeff-Jones, 2008, p. 70) Como se ha visto arriba, tanto el trabajo de McCulloch y Pitts como el de von Neumann ha sido una influencia crucial en el pensamiento de algunos de los científicos vinculados al *Santa Fe Institute*, entre ellos Kaufman, Wolfram y Langton.

En cuanto a la investigación de operaciones, según Warren Weaver la aproximación multidisciplinar de los equipos formados en este campo, los cuales bajo la presión de la guerra mezclaron sus diversos recursos y se enfocaron en la solución de problemas comunes, también fue fundamental a la hora de tratar ciertos problemas como fenómenos de complejidad organizada (Weaver, 1948).

La teoría de sistemas, que en base al paradigma cibernético contribuyó a conceptualizar como sistemas isomórficos diferentes tipos de totalidades organizadas, comparte con la ciencia de la complejidad un aparato conceptual común. Para Alhadeff-Jones, la teoría de sistemas fue fundamental para la elaboración e implementación de las metodologías que aspiraban a representar ciertos fenómenos como problemas de complejidad organizada (Alhadeff-Jones, 2008, p. 72). Según Phelan lo anterior sugiere un alto nivel de conmensurabilidad entre las dos teorías: “[u]na comparación casual de la teoría de sistemas y de la teoría de la complejidad no puede evitar observar un grado de superposición conceptual. Varios términos contienen virtualmente la misma definición en las dos teorías, incluyendo *sistema, emergencia, dinámico, no lineal, adaptativo y jerarquía*. Las dos teorías también comparten una creencia que existen principios universales que subyacen a todos los sistemas. Esto ha llevado a algunos comentaristas a sugerir que los dos campos son substancialmente similares, con la teoría de la complejidad siendo una versión derivada (y posiblemente más avanzada) de la teoría de sistemas.” (Phelan, 1999, p. 237).

En lo referente a las teorías de la auto-organización, noción determinante para la definición de los fenómenos complejos como sistemas emergentes, ya se mencionó antes que este concepto fue acuñado por el cibernético británico William Ross Ashby, quien usó el término para describir la correspondencia entre los comportamientos de un sistema y las relaciones entre sus partes. La idea de auto-organización también se ha nutrido de otros desarrollos en campos cercanos al pensamiento cibernético, entre estos se cuenta el trabajo sobre los autómatas de John von Neumann, al igual que las ideas de Heinz Von Foerster, Humberto Maturana y Francisco Varela sobre los sistemas autopoieticos (Alhadeff-Jones, 2008, p. 73).

En relación con estos desarrollos, la ciencia de la complejidad ha definido una agenda de investigación que retoma los problemas centrales del pensamiento cibernético. En este sentido el pensamiento de la complejidad ha reforzado una visión del mundo como un vasto conjunto de sistemas integrados, retroalimentados y auto-regulados, cuyas dinámicas dan origen a patrones complejos de organización, que constituirían la esencia de diversos fenómenos naturales, artificiales, físicos y sociales. Una definición del pensamiento de la

complejidad expuesta en *Complexity* resume claramente lo anterior: para Waldrop la ciencia de la complejidad es ante todo una búsqueda “sobre el flujo, el cambio, y la formación y disolución de patrones.” (Waldrop, 1992, p. 17)

Alrededor de estas ideas se ha elaborado un nuevo marco conceptual para pensar los procesos computacionales de generación de la forma arquitectónica. En referencia concreta a los conceptos de emergencia y auto-organización, la computación de la arquitectura ha sido pensada en términos de la interacción de los múltiples elementos que definen un escenario de diseño y del comportamiento material del objeto arquitectónico. Como se verá a continuación, este tipo de aproximación al diseño ha dado paso a la formulación de nuevos marcos teóricos y metodológicos para la producción de la arquitectura, que corresponden a la ontología y la epistemología informacional propia del desarrollo de la perspectiva computacional en la profesión.

6.6 La arquitectura como un sistema complejo

Alrededor de las ideas promovidas por la ciencia de la complejidad, diversos fenómenos han sido concebidos en diferentes campos del conocimiento contemporáneo como sistemas complejos. La arquitectura no ha sido la excepción. Por ejemplo, los autores de un manual para pensar los problemas de diseño desde esta perspectiva, afirman que en la actualidad “[l]a tarea central de los planificadores es resolver problemas complejos.” (Schonwandt, et al., 2013, p. 7) Cuando se habla de los problemas disciplinares en estos términos, se hace referencia concretamente a una concepción de los objetos arquitectónicos como sistemas en los que, como lo plantean Bonabeau, Dorigo y Theraulaz, “la autonomía, la emergencia y el funcionamiento distribuido reemplazan el control, la pre-programación y la centralización.” (Citado en Leach, 2004, p.71)

Esta manera de concebir los problemas de diseño ha sido particularmente influyente en el terreno de la producción digital de la arquitectura. Teniendo en cuenta el influjo cibernético en el desarrollo de la perspectiva computacional en la arquitectura, no es absoluto casual que un modelo de pensamiento que se apoya fuertemente en el empleo de la computación y cuyas ideas se inscriben dentro de la tradición del pensamiento de sistemas, haya llamado la atención de los profesionales involucrados en este campo. De hecho, el paradigma de la complejidad se ha convertido en uno de los modelos de referencia alrededor de los cuales se

han construido los problemas de investigación de la arquitectura computacional en los últimos años. En referencia a este modelo diversas prácticas han desarrollado nuevas aproximaciones al diseño, orientadas hacia la exploración de los problemas de la arquitectura en conformidad con los conceptos y las técnicas empleadas para el estudio y simulación de los fenómenos complejos.

En el centro de esta exploración se ha situado la concepción de la arquitectura como un fenómeno emergente. No obstante, la elaboración de los problemas de diseño como procesos emergentes no se ha circunscrito exclusivamente a la concepción de la arquitectura como un sistema complejo. Como se señaló en el capítulo anterior, los diferentes modelos que han concebido el diseño como un proceso generativo han planteado la cuestión de la emergencia de la arquitectura. Este es el caso de las investigaciones sobre las *shape grammars*, modelo informado por el pensamiento estructuralista y la lingüística, promovido por figuras como Lionel March, George Stiny y William Mitchell, y de las elaboraciones genéticas de la arquitectura, construidas bajo la influencia de las representaciones informacionales de los mecanismos de la herencia en la biología.

En estas prácticas los procesos de diseño elaborados han fomentado una concepción de la arquitectura como el resultado de la interacción dinámica entre diversos elementos. Por lo tanto, como lo sugiere Christian Derix, en los dos casos la programación de la arquitectura ha sido pensada en referencia a la idea que “las cualidades visuales y espaciales del espacio no podían ser «autorizadas» explícitamente dentro de la representación de la geometría, sino que las relaciones sistémicas de los elementos y sus mecanismos, contenidas en algún tipo de contexto, darían origen a expresiones del espacio desconocidas al inicio.” (Derix, 2008, p. 46)

Siguiendo esta ontología del diseño arquitectónico, en la última década se han desarrollado nuevas metodologías y agendas de investigación en el diseño, basadas en el empleo de la computación, que han explorado visiones de la arquitectura como un fenómeno emergente y auto-organizado.⁶²

De acuerdo con esta visión de los problemas arquitectónicos, se han propuesto nuevos escenarios para la exploración de una concepción sistémica y *performativa* de sus producciones. Crucialmente, alrededor de la exploración del diseño en referencia a las

⁶² La investigación de esta lógica en la producción de la arquitectura ha sido concebida como el medio ideal para responder al problema de la creciente complejidad de los problemas de la arquitectura. Por ejemplo, en el epílogo de *Tooling*, Sanford Kwinter plantea esta convicción al sugerir que para afrontar problemas más exigentes, el diseño “no debe enfocarse únicamente en procesos reguladores de primer orden, sino que debe apuntar a los controles de segundo orden que regulan a los procesos reguladores mismos.” (Aranda & Lasch, 2006, p. 93)

nociones centrales del pensamiento de la complejidad (emergencia y auto-organización), se ha definido un marco de trabajo relacionado con la definición de la arquitectura como un sistema compuesto por un gran número de factores, determinado por los múltiples vínculos posibles entre estos factores, del cual pueden esperarse una gran variedad de resultados inesperados. En este sentido las investigaciones aquí catalogadas como modelos emergentes han investigado la misma concepción del diseño promovida por las caracterizaciones cibernéticas de la arquitectura. No obstante, los modelos emergentes han definido una línea de investigación propia, basada en diferentes herramientas teóricas y metodológicas, desde la cual se ha repensado la cuestión de la generación de la forma en la arquitectura.

La construcción de los problemas de la arquitectura como fenómenos complejos se ha elaborado alrededor de dos temas centrales en el pensamiento de la complejidad: en primer lugar, la definición de los sistemas complejos como el resultado, lo que emerge, de las interacciones locales simples entre diversos elementos. En segundo lugar, la exploración de la idea, inherente a esta lógica relacional, según la cual todos los elementos que participan en la definición de una situación compleja son agentes activos (Fig. 1). Detrás de la exploración de esta mecánica en el diseño se encuentra la idea que es posible definir una realidad arquitectónica compleja y organizada de abajo hacia arriba.⁶³

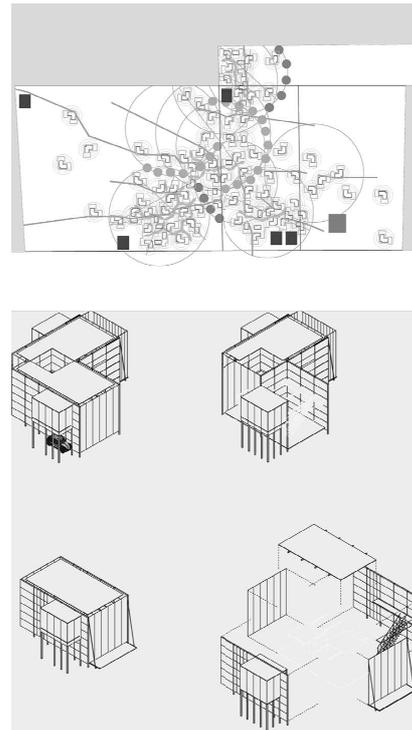


Figura 1

El proyecto Field project, producto de un curso de diseño emergente dirigido por Una-May O'Reilly, Ian Ross y Peter Testa, constituye un ejemplo claro de la concepción de la arquitectura como un fenómeno complejo organizado de abajo hacia arriba. Aquí la organización local de las viviendas no es el producto de patrones regulares predefinidos, sino del comportamiento atribuido a cada una de ellas. De este modo las viviendas son diseñadas como un ensamblaje adaptativo de elementos que definen el espacio. Fuente: Emergent Design: Artificial Life for Architecture Design, 2000. U.M. O'Reilly et al.

⁶³ Este punto representa un cambio crucial en la manera de concebir el diseño que es propio de la exploración de la computación en la arquitectura, pero particularmente evidente en los modelos emergentes. Se trata, como lo señala Leach, de concebir que, en oposición a los sistemas organizados de arriba hacia abajo y de acuerdo a principios generales, un sistema basado en reglas de bajo nivel puede producir un nivel más alto de sofisticación (Leach, 2004, p.72).

Como corolario de esta concepción holística y emergente de los problemas de diseño, ciertas prácticas han hecho un énfasis particular en la consideración del comportamiento material del objeto arquitectónico como uno de los aspectos esenciales en los procesos de formación de la arquitectura. Este énfasis se ha sustentado en la idea según la cual la materia exhibe propiedades emergentes y auto-organizadas, de modo que su comportamiento puede ser considerado como un factor activo, o generativo, en la producción de la forma arquitectónica.⁶⁴

Esta idea se ha asociado con dos cuestiones, estrechamente vinculadas, que han nutrido los imaginarios de la arquitectura como un fenómeno emergente: la concepción del desarrollo biológico como un proceso físico auto-organizado, y la idea que la computación está presente en todas partes en la naturaleza.

Estas exploraciones se han llevado a cabo de la mano con el desarrollo de nuevos escenarios para el empleo de los modelos computacionales de diseño y de técnicas importadas de la vida artificial y la biología computacional, además de una indagación sobre las posibles aplicaciones en el diseño arquitectónico de los adelantos en campos como la ciencia de materiales y la ingeniería bio-mimética.

6.7 La formación emergente y auto-organizada de la arquitectura

De acuerdo con la definición del comportamiento de un sistema complejo como el resultado de las interacciones locales, simples y no-lineales entre sus componentes, el concepto de emergencia en la arquitectura se ha asociado con la definición de métodos generativos de concepción, mediante los cuales la producción de la forma arquitectónica ha sido explorada como el resultado de propiedades adaptativas y auto-organizadas. Es decir, como el resultado de las propiedades que surgen de las relaciones dinámicas entre los diversos factores que definen un problema de diseño. Para Neil Leach este modo de concebir los problemas de la arquitectura ha constituido el problema central del trabajo de varias prácticas de diseño

⁶⁴Al respecto, en el artículo *Material Complexity*, Manuel De Landa explica cómo alrededor de las ideas centrales de las teorías de la complejidad ha surgido una nueva concepción filosófica de la materia, teorizada por Deleuze y Guatari, y nuevos campos de investigación sobre el comportamiento de la materia en base a técnicas correspondientes al estudio de condiciones de no-equilibrio, dinámicas no lineales y la teoría de la inestabilidad. (De Landa, 2011, p. 18)

digital, que el autor sitúa dentro de una tradición en la que el *performance* de la arquitectura ha sido privilegiado sobre su apariencia.

Siguiendo a Deleuze y Guattari, Leach relaciona esta tradición en el diseño con una manera de construir el conocimiento que los autores de *Mil mesetas* definen como un modo de pensamiento intensivo. Se trata de una visión del conocimiento desde la cual el mundo se entiende en términos de fuerzas, flujos y procesos; en palabras de Leach este es “un modelo *bottom-up* que responde en cada instancia individual a las particularidades del momento.” (Leach, 2004, p. 74)

En el pensamiento arquitectónico contemporáneo esta visión aparece claramente representada por el concepto de diseño emergente. Esta aproximación al diseño se basa en la identificación de los elementos que definen un problema de diseño y sus interacciones locales; interacciones que son definidas por las propiedades intrínsecas de los elementos en cuestión y su proximidad con otros elementos. Esta es la base de los modelos desarrollados por el *Emergent Design Group*, cuyas herramientas y estrategias de diseño – que se han elaborado alrededor de la integración de una serie de técnicas y conceptos importados del campo de la vida artificial⁶⁵ – han definido uno de los ejemplos paradigmáticos de la construcción de la arquitectura como un fenómeno complejo (Fig. 2).

De acuerdo con las propiedades de los fenómenos complejos, las investigaciones del *Emergent Design Group* han desarrollado una visión de la arquitectura basada en la consideración de cada parte de un

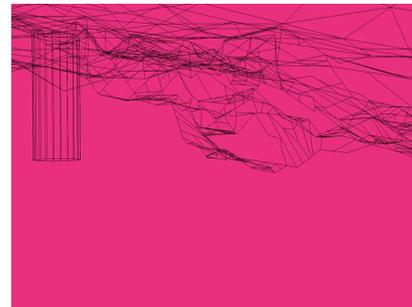
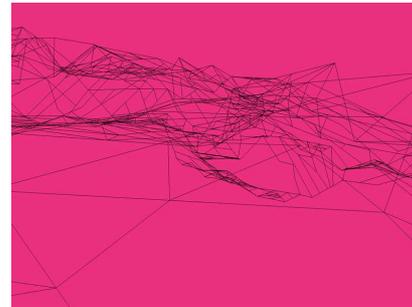


Figura 2

Estas imágenes corresponden a un proceso de diseño desarrollado con GENR8, una herramienta desarrollada por el EDG, que permite explorar una metodología de diseño arquitectónico basada en el empleo de lenguajes de crecimiento como los L-Systems, junto con un sistema de simulación de adaptación evolutiva.
Fuente: web.mit.edu/edgsrc/www/genr8/media.html

⁶⁵ Modelo establecido por Chris Langton en el seno del *Santa Fe Institute*, enfocado en el estudio de la computación y la vida como fenómenos análogos.

problema de diseño, incluidos los factores medio-ambientales, como un componente activo. De este modo se ha elaborado un modelo en el que los escenarios de diseño son definidos como un sistema en el que cada uno de sus elementos puede influir en el estado del ambiente, o de otros componentes del sistema, creando así una forma de organización que puede generar niveles de organización cada vez más complejos (Testa, et al., 2001, p. 484).

Este modo de definir los problemas de diseño se encuentra en el centro de diferentes prácticas de diseño computacional, donde la capacidad de auto-organización de los fenómenos complejos ha sido considerada como un factor de gran potencial para la generación de la forma arquitectónica. En este sentido se han desarrollado diversas estrategias de diseño basadas en el empleo de técnicas como los autómatas celulares y los sistemas basados en agentes, que permiten explorar configuraciones espaciales que resultan de la interacción, en base a reglas simples, entre elementos activos.

Un ejemplo bien conocido de esta manera de pensar los procesos de concepción es el *Automason 1.0* de Michael Silver (Fig. 3). Mediante la definición de una estrategia de diseño basada en el empleo de autómatas celulares, Silver plantea un método de auto-producción de la arquitectura donde la interacción, controlada por reglas simples, de los elementos constructivos produce la forma global del edificio. En la descripción de su proyecto, Silver explica, trasladando a un problema arquitectónico los discursos del pensamiento de la complejidad, que “con programas simples los detalles constructivos obtienen

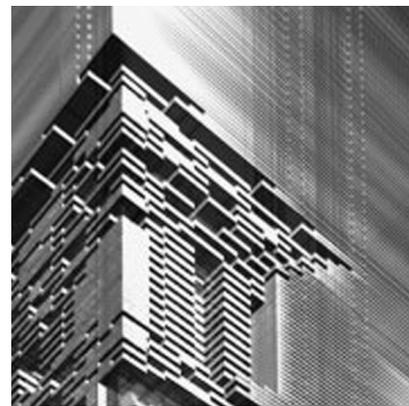
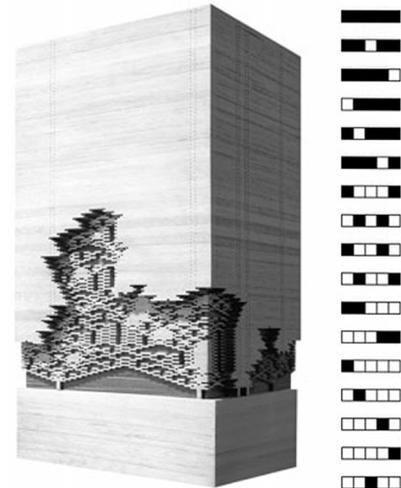


Figura 3

El proyecto Automason 1.0 de Michael Silver constituye un ejemplo de la exploración de una lógica de diseño “bottom-up”, donde la configuración de los espacios diseñados es el resultado de las reglas contenidas en un autómata celular. En este caso los elementos constructivos de la envolvente del edificio son equivalentes a las células en una matriz tridimensional. Fuente: AD, 2006. Vol 76 – 4.

su complejidad gratuitamente; ningún agente externo, autor o sistema externo es necesitado para diseñarlos.” (Silver, 2005)

La elaboración de los procesos de diseño como sistemas auto-organizados – noción que ha sido asociada por los teóricos de la complejidad con el carácter teleológico de los sistemas orgánicos y otros fenómenos biológicos como la emergencia del comportamiento inteligente – ha dado paso a la construcción de los modelos emergentes alrededor de nuevos imaginarios biológicos.

De hecho, un aspecto crucial de estas aproximaciones al diseño ha sido la idea de estudiar la lógica de organización de los fenómenos naturales, gracias a la capacidad de la computación para describirlos y simularlos, y extraer de esta lógica reglas para la elaboración de la arquitectura. En este sentido los modelos emergentes refuerzan, mediante su aspiración de atribuir a los objetos diseñados ciertas características de los organismos, la “biologización” del diseño propia de diversas producciones digitales de la arquitectura (Fig. 4).

Por ejemplo, contruidos como procesos auto-organizados, los procesos de concepción han sido imaginados como sistemas capaces de exhibir una forma de inteligencia propia. De esta manera se ha considerado que un problema de diseño, concebido como un fenómeno emergente, debería permitir evaluar un escenario complejo y encontrar una variedad de soluciones adaptadas a sus condiciones intrínsecas.

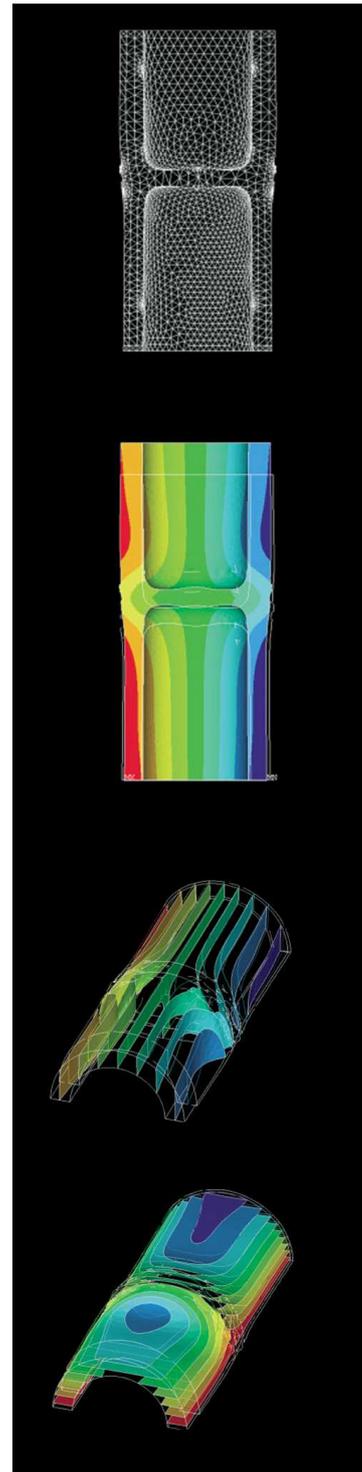


Figura 4

El trabajo de Michael Weinstok se inscribe dentro de esta línea de investigación, que se ha centrado en el estudio del comportamiento material auto-organizado de diversos sistemas naturales, con el objetivo de aplicar principios similares en el diseño arquitectónico. Fuente: AD, 2006. Vol 76 - 2.

Un ejemplo de lo anterior se encuentra en las investigaciones de Abel Maciel (Fig. 5), definidas como un intento de “demostrar las ventajas de un proceso de diseño que contiene variables locales que son procesadas automáticamente para adquirir un comportamiento inteligente.” (Maciel, 2008, p. 62) Según Maciel, gracias a la definición del proyecto mediante la acción de agentes inteligentes, que “se adaptan a los cambios en sus ambientes locales en búsqueda de objetivos mínimamente especificados”, sería posible interrogar, refinar y sugerir mejores maneras de resolver un problema arquitectónico (Maciel, 2008, p. 62).

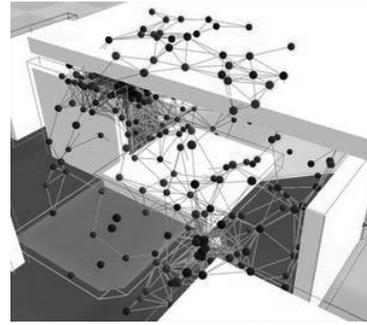


Figura 5

Mediante el empleo de algoritmos genéticos y sistemas emergentes, Abel Maciel explora el diseño como un proceso de selección, adaptación y auto-optimización del cual emergen configuraciones espaciales que el programador no puede anticipar. Fuente: <http://www.bdonline.co.uk>

Aquí el principio es el mismo que el que subyace a las investigaciones del *Emergent Design Group*; mientras haya un grupo de elementos activos fuertemente interrelacionados, se asume que la emergencia de un comportamiento cada vez más complejo es inevitable, en este caso, el comportamiento inteligente de un sistema.



La misma cuestión aparece de manera latente en el influyente trabajo de Benjamin Aranda y Chris Lasch. Partiendo de la exploración de las reglas simples que describen el comportamiento complejo de una serie de fenómenos naturales, una parte del trabajo de Aranda y Lasch se ha orientado hacia la concepción de sistemas formales que exhiben los altos niveles de organización presentes en la naturaleza (Fig.6). En palabras de Cecil Balmond, las investigaciones algorítmicas de Aranda y Lasch “compilan y revelan una serie de órdenes embebidos”, de modo que estas pueden, a un nivel macro, insinuar la organización



Figura 6

La arquitectura algorítmica de Aranda y Lasch es un caso paradigmático de la definición de procesos de diseño basados en la interacción de elementos a partir de reglas simples, de los cuales emergen sistemas complejos. Fuente: Pamphlet Architecture 27: Tooling, 2006. B. Aranda & C. Lasch.

cósmica, o, a un nivel micro, intuir procesos biológicos (Aranda & Lasch, 2006, p. 7).

La idea central explorada por los autores de *Tooling* es que la arquitectura es un “proceso extendido de formación.” Esto significa que “antes que las ideas se fundan en una forma definitiva, debe existir algún estado indiferenciado libre de cualquier organización. En el momento en el que cualquier tipo de desarrollo es impuesto en esta materia sin forma, esta comienza a entrar en el reino de la substancia, la organización y lo material.” (Aranda & Lasch, 2006, p. 8) En este sentido el trabajo de Aranda y Lasch aparece como una exploración de las reglas que influyen el movimiento de este estado pre-material hacia el reino de lo material.

Crucialmente, este es uno de los aspectos fundamentales que han dirigido la agenda de investigación de diferentes prácticas de arquitectura emergente; a saber, la integración en los procesos de diseño de dos dimensiones, la organización del diseño en base a reglas programadas y su interacción con los aspectos materiales de la arquitectura.

De esta manera la emergencia de la arquitectura ha sido concebida como el resultado de una dinámica de retroalimentación que envuelve, además del influjo de fuerzas y factores externos al objeto diseñado, el comportamiento material de la arquitectura como un factor activo en los procesos de formación.

6.8 La computación material de la arquitectura

Esta manera de pensar la generación de la forma en el diseño arquitectónico ha sido explorada en referencia concreta a un cambio de enfoque en las ciencias biológicas que se ha desprendido del concepto cibernético de auto-organización. Manuel De Landa explica que este cambio de enfoque se desprende de la consideración que “[e]ntre la información codificada en los genes y los rasgos adaptativos de una planta o un animal (i.e., entre genotipo y fenotipo), hay múltiples capas de procesos auto-organizados, cada uno sostenido por estados estables generados endógenamente, ellos mismos el producto del flujo de materia y energía.” (De Landa, 2011, p. 112) Desde esta perspectiva se ha considerado que el material genético no constituye exactamente “un plano para la generación de la estructura y las funciones orgánicas, una idea que implica que la información contenida en los genes predetermina una forma que es impuesta en una carne pasiva. Por el contrario, se considera que los genes y sus productos actúan como restricciones en una variedad de procesos que generan orden espontáneamente,

de alguna manera *desentrañando* una forma a partir de carne activa (y morfo-genéticamente preñada).” (De Landa, 2011, p. 112)

Alrededor de esta concepción cibernética del desarrollo biológico como paradigma para el diseño – paradigma que ha conducido a pensar en los procesos de materialización de la arquitectura como una fuerza generativa en el diseño – aparece el segundo aspecto del pensamiento de la complejidad alrededor del cual se han construido los modelos emergentes.

Un aspecto crucial de la concepción de la morfo-génesis expuesta por De Landa es la idea que cualquier sistema complejo, independientemente de su naturaleza, “es capaz de generar orden espontáneamente y de organizarse a si mismo activamente en nuevas estructuras y formas.” (De Landa, 2004, p. 17) Esta premisa, central en el pensamiento de la complejidad, ha sido asociada por algunos de sus principales promotores (Langton, Kaufmann, Wolfram) con la idea que los sistemas complejos son regidos por mecanismos comparables a la computación.⁶⁶

Philip Ball explica que el origen de esta comparación se encuentra en el hecho que diferentes fenómenos auto-organizados pueden ser simulados mediante sistemas computacionales, como los autómatas celulares, donde una serie de elementos discretos interactúan mediante reglas locales simples, y cuyo estado depende del estado de las células circundantes. De manera análoga, al ser definidos como procesos de interacciones locales y simples, los patrones auto-organizados observados en la naturaleza han sido pensados como una especie de computación material efectuada por las interacciones de los elementos de un sistema (Ball, 2012, p. 26).

En correspondencia con esta consideración, al ser concebida como un proceso material auto-organizado, y por lo tanto como un fenómeno análogo al desarrollo en los organismos, la emergencia de la forma arquitectónica también ha sido pensada como el producto de una especie de computación material.

Mediante esta asociación de ideas, la consideración de los procesos materiales como una fuerza generativa para la emergencia de la arquitectura se ha relacionado con el concepto de computación. De este modo la idea de computación no se ha asociado únicamente con la programación de los procesos de formación de la arquitectura, sino con la comprensión del comportamiento físico de los objetos diseñados como una especie de computación material de la cual emerge la forma arquitectónica.

⁶⁶ En este sentido existe una gran cercanía entre los modelos genéticos y los modelos emergentes.

Por ejemplo, en base a la idea que un sistema material en el que diversos componentes individuales trabajan juntos puede entenderse como una forma de computación, en el campo de la arquitectura computacional ha sido ampliamente explorada una aproximación al diseño inspirada en los experimentos de descubrimiento de la forma elaborados por Frei Otto y Antoni Gaudí – cuya influencia ha sido crucial para el desarrollo de diversas aproximaciones al estudio de la forma arquitectónica, considerada como la expresión material de fuerzas, tensiones, sistemas constructivos, etcétera (Fig. 7).

En un intento por establecer métodos de diseño capaces de integrar la concepción de la morfo-génesis de la arquitectura como un proceso computacional – tanto como el resultado de su programación algorítmica y como el producto de un proceso material complejo – algunas de las más influyentes prácticas contemporáneas han concebido una agenda de investigación donde la arquitectura ha sido pensada como el resultado de procesos auto-organizados en diversos niveles, desde su programación hasta su comportamiento físico.

Tal enfoque ha implicado pensar de otro modo los ciclos de retroalimentación en los procesos generativos que definen una forma arquitectónica, dando un espacio mucho más importante a los aspectos tectónicos en la concepción digital de la arquitectura. En este sentido, en los modelos emergentes la programación de la arquitectura no ha sido pensada únicamente como la definición de una serie de instrucciones y reglas que contienen y predefinen la forma del edificio, sino, retomando las

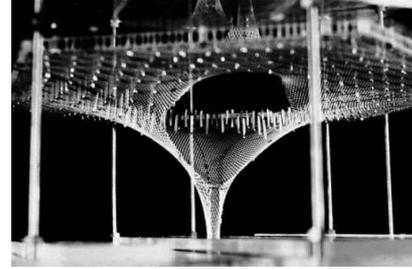


Figura 7

En este caso, Christoph Ingenhoven & Partner, junto a Frei Otto, Büro Happold y Leonhardt & Andrae, exploran mediante un modelo suspendido la forma de los arcos de una estación de tren en Stuttgart. Mediante este método, el diseño es concebida como el resultado de una lógica de retroalimentación entre la forma diseñada y el comportamiento material de sus componentes. Fuente: <http://www.freiotto.com/FreiOtto>

palabras de De Landa, como “restricciones en una variedad de procesos que generan orden espontáneamente, de alguna manera *desentrañando* una forma”; aunque, en este caso, no de carne activa como diría el filósofo, sino de sistemas materiales activos.

A partir de la consideración que las propiedades de la materia pueden ser “generadores activos”, se han definido nuevos enfoques para el empleo de la computación en el diseño. Desde esta perspectiva el potencial de la computación ha sido pensado como un medio para definir la organización material de la arquitectura, mediante la exploración de metodologías de concepción que envuelven una lógica de retroalimentación entre la arquitectura y el ambiente, y que incluye entre los factores analizados las características y el comportamiento material del objeto diseñado (Menges, 2012, p. 16).

El germen de este tipo de aproximación al diseño puede apreciarse en el trabajo teórico y experimental de Lars Spuybroeck, quien ha sido uno de los principales promotores de una teoría de la generación digital de la forma dependiente de su comportamiento material (Fig. 8).

En correspondencia con la concepción del comportamiento material como una forma de computación, la teoría propuesta por el director de NOX parte de considerar la materia no como un ente pasivo, sino como algo dinámico, como algo móvil en sí mismo. De esta manera se considera que el comportamiento material de la arquitectura puede ser

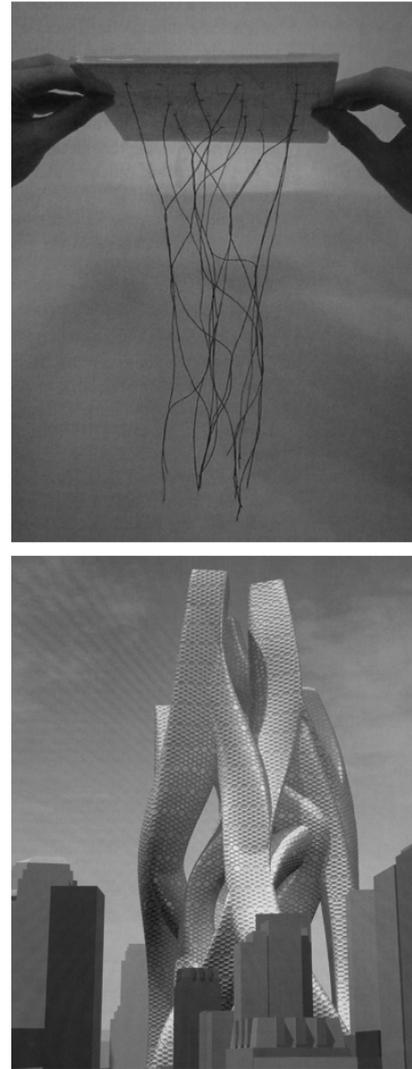


Figura 8

En el trabajo de NOX los aspectos materiales de la arquitectura son considerados como un factor generativo de la forma, es decir, como parte de un proceso activo del cual puede emerger algún tipo de organización de manera espontánea. En este caso específico, la forma del edificio es investigada a través del comportamiento de un sistema de curvas catenarias, que posteriormente es traducido en un modelo virtual tridimensional. Fuente: Performative Architecture, 2005. B. Kolarevic & A.M. Malkawi (Eds).

pensado como un proceso activo capaz de generar orden espontáneamente.

Spuybroek sostiene que esta visión “envuelve el ahora bien conocido concepto de auto-organización, en el que los materiales son agentes activos...que buscan orden, un orden que no es trascendentalmente establecido sino que emerge de abajo hacia arriba.” (Spuybroek, 2010, p. 272) En referencia a esta idea, que evoca los problemas centrales del pensamiento de la complejidad, Spuybroek plantea una concepción del diseño que se relaciona con una nueva ontología (compleja) del comportamiento material y con el potencial de la codificación de la arquitectura para explorar esta ontología.

Para Spuybroek entender el carácter activo de la materia también implica concebir que cualquier objeto, sea este natural o artificial, es en su origen una singularidad organizacional que puede divergir en múltiples estructuras reales. En términos del diseño de un objeto arquitectónico lo anterior significa que el proyecto puede ser concebido a través de dos fases: una fase de convergencia y una de divergencia. La fase de convergencia corresponde a “un movimiento de virtualización, en el que se recopila, selecciona, mapea o grafica información, y posteriormente es organizada en una máquina virtual.” Esta fase es un movimiento hacia el orden y la organización. La fase de divergencia es “un movimiento de actualización en el que el diagrama organizacional germina y se vuelve formativo.” Se trata de un movimiento hacia la materia y la estructura (Spuybroek, 2010, p. 273).

La concepción del proceso de diseño como un movimiento de convergencia y de divergencia evoca la idea, central en la biología del desarrollo, según la cual no toda la información se encuentra en los genes; idea que obliga a pensar que los aspectos físicos del desarrollo deben tener una influencia en el proceso de formación de un organismo. Esta visión del desarrollo biológico ha informado diferentes prácticas que han planteado la importancia de incluir los factores materiales en los métodos algorítmicos de concepción.

Por ejemplo, desde esta perspectiva se ha propuesto una nueva manera de concebir la programación genética de la arquitectura, que se ha relacionado con el carácter de la emergencia en los mecanismos de la herencia. Así, la noción de diseño emergente se ha construido en relación con la idea que “[u]n genotipo no es estático, sino un dialogo con el fenotipo y los procesos a los que la forma de vida está expuesta...[e]l ADN no es un plano estático para la vida, sino que está cambiando constantemente y adaptándose a fuerzas exteriores.” (Maciel, 2008, p. 62)

La misma cuestión aparece en la visión del diseño explorada por Cecil Balmond en *Element* (Fig.9), visión que se inspira de la concepción de los procesos de formación en la naturaleza como un mecanismo de retroalimentación entre la información codificada en los genes y las fuerzas presentes en el contexto en el cual el organismo se desarrolla. Así, el desarrollo orgánico aparece como un modelo para el diseño del correcto balance entre patrón y substancia: “[e]l algoritmo...promueve la idea básica...a diferentes escalas, y el ambiente alimenta las posibilidades de variación.” (Balmond, 2007)

En referencia a esta manera de concebir el diseño, Spuybroek considera que “[s]i el código ya es en sí mismo material, y su historia es material, también lo es su desarrollo. Por lo tanto, también para el diseño necesitamos un pensamiento procesal progresivo, metodologías seriales que, como la cadena lineal de la molécula del ADN, sean activadas en diferentes momentos del procedimiento, que sean materiales y parciales, desde el principio hasta el fin.” (Spuybroek, 2010, p. 274).

En otras palabras, lo que imaginan Spuybroek y Balmond es una metodología de concepción en la que el comportamiento físico del edificio debe ser analizado e integrado dentro de los ciclos de retroalimentación que definen la forma arquitectónica. De esta manera la forma es concebida como un proceso computacional no solamente en la medida que es el resultado de la operación de una máquina virtual (la forma programada, por ejemplo), sino también en tanto que resultado del

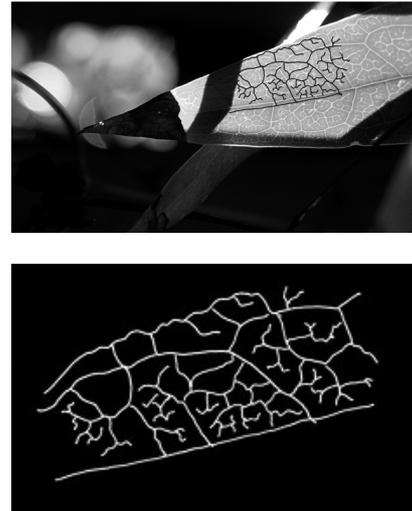


Figura 9

Balmond ha explorado profundamente la conexión entre los patrones presentes en los sistemas naturales y su desarrollo en función de diferentes condiciones. Del mismo modo en su trabajo está latente una concepción del diseño como un sistema programado capaz de adaptarse para responder a parámetros variables. Fuente: Element, 2007. C. Balmond.

comportamiento material complejo del objeto diseñado.

Esta ontología del diseño ha sido profundamente explorada en el trabajo del *Emergence and Design Group*, grupo que ha definido una de las agendas de investigación más influyentes en el campo de la arquitectura digital en los últimos años. Alrededor del estudio de los procesos de auto-organización y emergencia en los sistemas naturales, Michael Hensel, Michael Weinstock y Achim Menges han desarrollado una aproximación experimental al diseño arquitectónico que ha explorado nuevos escenarios metodológicos y teóricos para la concepción de una arquitectura sistémica, *performativa* y bio-inspirada. Lo anterior mediante el desarrollo de procesos generativos de creación de la forma informados por el comportamiento material del objeto arquitectónico (Fig. 10).

Las exploraciones del grupo se han basado en gran parte en la observación de los de los procesos mediante los cuales emergen funciones y propiedades en los organismos. Partiendo de la comprensión del concepto de auto-organización como el incremento automático del orden en un sistema, y de la noción de emergencia como la producción espontánea de diversas escalas de organización y de interrelaciones entre los componentes de un sistema, el grupo ha indagado sobre las implicaciones de estos mecanismos en los sistemas naturales y sus posibles aplicaciones en los procesos de diseño y fabricación dirigidos digitalmente (Hensel, et al., 2006, Hensel & Menges, 2008).

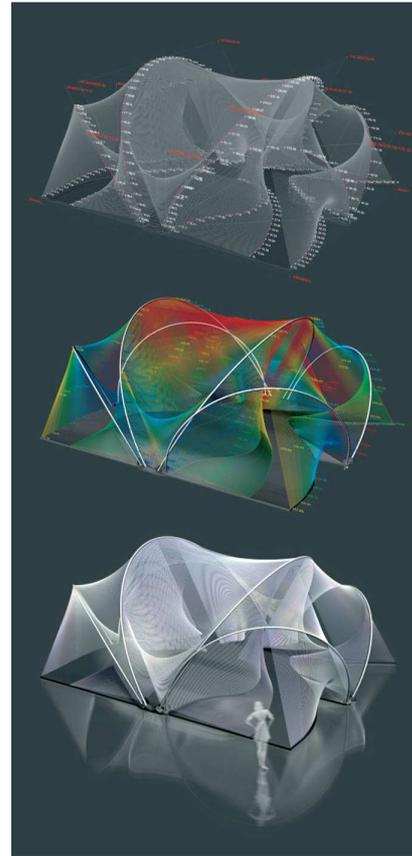


Figura 10

En este experimento desarrollado por el Emergence and Design Group, un proceso computacional fue empleado para crear una serie de superficies regladas, generadas a partir de la definición paramétrica de una serie de curvas generatrices y directrices. Para el proceso de generación de la forma se tuvieron en cuenta tanto criterios estructurales, que podían ser analizados de manera recurrente para mantener un estado de equilibrio del sistema, como criterios relacionados con la relación entre cuerpo, espacio, movimiento y el espacio emergente. Fuente: AD, Vol 78-2

Algunas de las características de los sistemas orgánicos que han sido investigadas en relación con este objetivo incluyen el alto nivel de integración y funcionalidad de los seres vivos, la redundancia como estrategia biológica y el fenómeno de diferenciación. Estas características de los organismos son consideradas de interés para la concepción de la arquitectura, considerada como un fenómeno emergente, en la medida que son responsables de la relación de retroalimentación dinámica de los organismos con el ambiente, de su capacidad de auto-organizar sus procesos de desarrollo, de su capacidad de adaptación a tensiones ambientales cambiantes y de los procesos mediante los cuales las células o los tejidos están sujetos a un cambio hacia formas o funciones más especializadas (Hensel, et al., 2006, p. 6).

En correspondencia con estas características observadas en los sistemas naturales, los métodos elaborados por el grupo se han orientado hacia una exploración de la evolución biológica como una estrategia significativa para el diseño, de la producción de morfologías variadas como medio para generar diversos tipos de organizaciones e intensidades, y de la construcción de la arquitectura como ecología, es decir, como un fenómeno que envuelve relaciones dinámicas y variables, al igual que una modulación mutua entre sus partes. (Hensel & Menges, 2006, Weinstock, 2006, 2006a)

Lo anterior mediante la integración de una serie de herramientas que incluyen diversos métodos disponibles para modelar digitalmente el crecimiento biológico, informado por un ambiente anfitrión y en

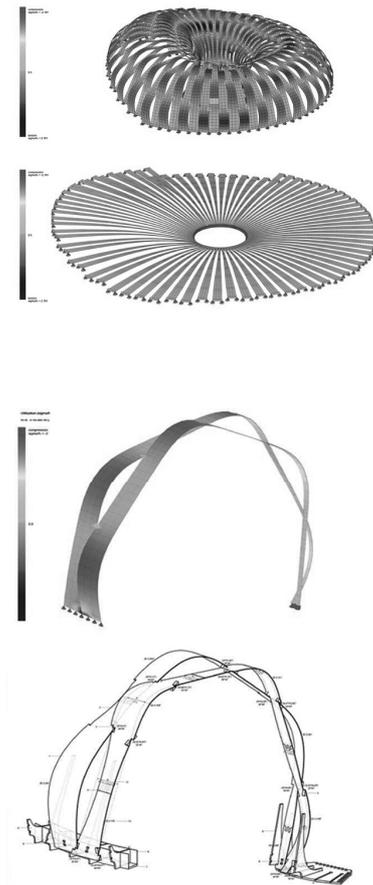


Figura 11

Dentro de la misma línea de su trabajo con el Emergence and Design Group, Menges ha consolidado en el ICD una agenda de investigación que explora la retroalimentación entre la computación, la simulación avanzada y la fabricación digital, como el medio para explorar el comportamiento material como factor generativo en el diseño. Fuente: AD, 2012. Vol. 82-2.

función de parámetros ambientales, herramientas computacionales de diseño y análisis, al igual que una indagación sobre la posible articulación de estas herramientas con los avances en campos de investigación como la ingeniería bio-mimética, la vida artificial y la ciencia de materiales. De esta manera las preferencias del diseño pueden ser combinadas con una definición paramétrica y ser al mismo tiempo informadas por un contexto material y ambiental.

La misma cuestión aparece en el trabajo desarrollado por Menges en el *Institute of Computational Design* (Fig.11). El ICD ha explorado la retroalimentación entre el diseño computacional, la simulación avanzada y la fabricación digital como el medio para expandir el espacio de diseño gracias a las posibilidades de permitir al comportamiento material desplegar estructuras *performativas*. Para Menges esta aproximación “permite una mayor integración en una multitud de niveles”, gracias al análisis del comportamiento material de los elementos del objeto arquitectónico, de su interacción mutua y de su interacción “dentro de un campo de varias influencias externas.” (Menges, 2012, p. 20)

Esta concepción del diseño, basada en la reconciliación de la computación y los aspectos materiales de la arquitectura, constituye el paradigma de una nueva manera de pensar la relación entre forma y *performance*.⁶⁷ En palabras de Hensel y Menges, esta pragmática del diseño arquitectónico parte de la consideración que gracias a la interacción “entre diferentes criterios intrínsecos al sistema, y posiblemente en conflicto, como las restricciones de manufacturación y construcción introducidas en la definición paramétrica subyacente y las múltiples influencias ambientales, el sistema debería desplegar niveles crecientes de articulación compleja que podrían ser clasificados de acuerdo a su habilidad para satisfacer múltiples fines y objetivos de *performance*.” (Hensel & Menges, 2006, p. 88)

La descripción anterior, que resume claramente los objetivos perseguidos por las prácticas de diseño emergente, es también representativa del punto que se ha tratado de señalar a lo largo de este capítulo, a saber, del vínculo que estos modelos mantienen con las construcciones cibernéticas de la arquitectura.

⁶⁷ Entre las investigaciones llevadas a cabo actualmente en este sentido se puede mencionar el trabajo experimental desarrollado por el *Institute of Computational Design*, por el *Mediated Matter Research Lab*, por el *Self-Assembly Lab* y el *Baubotanik research group*, entre otras. Todas estas prácticas se han enfocado en el estudio de la materialidad como punto de partida de procesos de diseño exploratorios, y en el empleo de la computación como herramienta para informar el diseño a través de las características y el comportamiento material y al mismo tiempo informando la organización de la materia en base a la retroalimentación con el ambiente.

Este vínculo aparece claramente representado por la cercanía de los modelos en cuestión con una ontología y una epistemología informacional, explorada a través de los conceptos heredados de la ciencia de la complejidad. Crucialmente, las elaboraciones de la arquitectura como fenómenos complejos, que aquí se han definido como modelos emergentes, han definido una agenda de investigación en el diseño donde los problemas disciplinares han sido pensados alrededor de los mismos problemas planteados por los modelos analizados en los capítulos precedentes.

6.9 Conclusión

En la primera parte de este capítulo se indicó el vínculo existente entre la ciencia de la complejidad y el modelo cibernético. De este modo se trató de mostrar en qué sentido el pensamiento de la complejidad se ha construido en referencia a una visión del mundo como un vasto conjunto de sistemas integrados, retroalimentados y auto-regulados, cuyas dinámicas dan origen a formas complejas de organización que se encontrarían por todas partes en los sistemas naturales.

En base a lo anterior se ha señalado que, en correspondencia con los postulados del paradigma de la complejidad, en el campo del diseño computacional se han elaborado visiones de la arquitectura como un fenómeno emergente. Se trata de visiones que han explorado una concepción de los problemas de diseño como sistemas auto-organizados, como sistemas abiertos cuyas conexiones internas y con el medio ambiente permiten el surgimiento de una realidad espacial compleja, que incluye entre sus aspectos determinantes los aspectos materiales de los edificios. Esta ontología del diseño ha sido investigada mediante una manera de construir los problemas disciplinares que retoma los mismos aspectos investigados en los modelos *performativos*, sistémicos y genéticos, analizados en los capítulos precedentes: la definición de la arquitectura como un sistema, como un fenómeno dinámico e integrado con el medio ambiente, como un mecanismo codificado y basado en reglas, y como un artefacto análogo en su funcionamiento a los sistemas naturales.

Con esta mirada a las construcciones emergentes de la arquitectura se completa el panorama propuesto sobre cómo la perspectiva computacional en la profesión se ha construido como un proceso de retroalimentación entre el mundo de las ideas y el mundo de la técnica; donde los modelos de pensamiento asociados a los discursos de la información han jugado un papel tan relevante como las tecnologías informáticas. Junto con los capítulos precedentes, este análisis constituye una mirada que permite comprender las relaciones intrincadas entre la producción computacional de la arquitectura y un profundo cambio de paradigma en la cultura y el conocimiento contemporáneos; cambio de paradigma que se consolidó a mediados del siglo pasado gracias a los importantes cambios epistemológicos y tecnológicos asociados al nacimiento de la sociedad de la información.

7. Una mirada crítica

7.1 *Hacia una mirada crítica de la producción computacional de la arquitectura*

Una de las premisas sobre las cuales se planteó el tema de la disertación es que la comprensión de la evolución de la perspectiva computacional en la arquitectura, tal como ésta ha sido trazada aquí – o sea, como un proceso de retroalimentación entre conceptos y tecnologías informacionales –, es una condición necesaria para la construcción de una mirada crítica de las producciones de la arquitectura computacional. En este sentido, el análisis propuesto fue concebido como una herramienta que debería ayudar a responder a la pregunta sobre cómo las elaboraciones cibernéticas de los problemas de diseño son significativas, o no, para la producción de la arquitectura en el contexto actual.

A manera de ejemplo de cómo este tipo de análisis puede contribuir a responder a esta pregunta, en las páginas siguientes se propone una breve discusión alrededor de tres aspectos propios de las diferentes construcciones cibernéticas de la arquitectura estudiadas a lo largo de la disertación.

Mediante esta reflexión se pretende señalar ciertos elementos significativos del cambio de paradigma inherente a las elaboraciones informacionales de la arquitectura, al igual que algunos aspectos controversiales, que el análisis planteado permite identificar.

7.2 *Utopías, prototipos y ecologías*

En las diferentes construcciones cibernéticas del diseño (llámense modelos *performativos*, sistémicos, genéticos o emergentes) que se han desarrollado en las últimas décadas alrededor de los imaginarios promovidos por los discursos de la información, pueden identificarse tres maneras predominantes de concebir los problemas disciplinares de la arquitectura: se trata de su construcción como utopías, como prototipos y como ecologías.⁶⁸

⁶⁸ Es interesante anotar que el carácter utópico, prototípico y ecológico de las producciones de la arquitectura computacional indica una clara relación con otros aspectos de los discursos cibernéticos, más allá de los vínculos temáticos y tecnológicos señalados en los capítulos anteriores. Entre estos aspectos se puede mencionar la tendencia en ambos campos a cosificar sus discursos, su carácter profético y su creencia en el potencial del desarrollo científico como solución a los problemas socio-políticos de su época.

Cuando se habla del carácter utópico de la arquitectura digital, aquí se hace referencia concretamente a una tendencia en este campo que consiste en imaginar escenarios de diseño caracterizados por el empleo de nuevas herramientas tecnológicas, que, de acuerdo a sus promotores, transformarían radicalmente la práctica de la profesión, al igual que las condiciones socio-culturales y materiales del habitar. Este ha sido en gran medida el resultado de una praxis, común en las producciones digitales, que ha permitido la transposición de conceptos y tecnologías desarrolladas en diferentes campos del conocimiento científico, a los problemas disciplinares de la arquitectura.

Lo anterior mantiene un estrecho vínculo con el carácter prototípico de la arquitectura digital, categoría mediante la cual se pretende señalar la orientación altamente experimental de muchas de las prácticas desarrolladas en este campo. Como se ha visto a lo largo de la disertación, se trata de un terreno cuyas exploraciones se han dirigido, en gran parte, hacia la investigación de diferentes escenarios de diseño y materialización de la arquitectura basados en la aplicación sistemática de nuevos desarrollos tecnológicos; lo anterior tanto al nivel de los procesos de proyectación, como al nivel de la definición tectónica de los objetos arquitectónicos.

En lo que concierne al carácter ecológico de la arquitectura computacional, lo que se pretende resaltar mediante esta noción es la concepción, ampliamente difundida entre las prácticas actuales, del hecho arquitectónico como un sistema complejo que, además de los aspectos materiales de la arquitectura, comprende la interacción de una multiplicidad de factores y variables, muchos de ellos externos al objeto arquitectónico, como elementos determinantes para la configuración, o emergencia, de una realidad espacial.

Identificadas estas tres tendencias dominantes en las prácticas de arquitectura computacional – que en su mayoría pueden asociarse por lo menos con alguno de estos aspectos, cuando no con todos (Fig.1) –, la pregunta que cabe plantearse es qué aspectos de cada una de estas tendencias son significativos en términos de las exigencias de la producción del espacio contemporáneo; o, en su defecto, cuáles de estos aspectos se consideran controversiales y exigen ser debatidos.

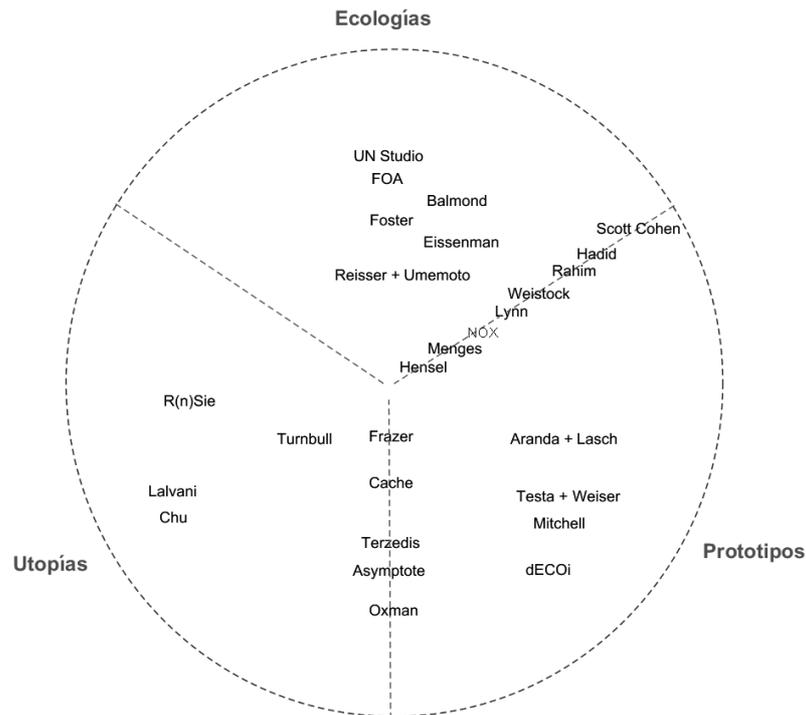


Figura 1. Este diagrama presenta una clasificación de algunas de las prácticas de arquitectura digital mencionadas a lo largo de la disertación de acuerdo con las tres categorías propuestas. El diagrama muestra cómo todas se pueden asociar con alguna, o varias, de estas categorías.

7.3 Utopías: ¿el proyecto como crítica o la arquitectura de ciencia ficción?

Las visiones utópicas son significativas en la medida que plantean el ejercicio de la proyectación de la arquitectura como crítica de la producción arquitectónica actual, señalando al mismo tiempo nuevos escenarios para la práctica de la profesión que, en principio, deberían sugerir soluciones a una problemática identificada. En este sentido muchas prácticas de diseño digital han tenido la virtud de recuperar el pensamiento utópico, profundamente desacreditado tras el fracaso del proyecto moderno, como ejercicio intelectual en la profesión.

No obstante, en el campo de la producción computacional de la arquitectura, estas exploraciones no se han traducido en propuestas que permitan una transición entre el ejercicio intelectual y la producción de arquitecturas que respondan a las complejas necesidades del habitar. Por el contrario, estas investigaciones se han encerrado con frecuencia en la construcción de ficciones arquitectónicas, donde supuestos desarrollos tecnológicos futuros han sido presentados como la respuesta a los problemas del habitar en el mundo contemporáneo, o en las que los imaginarios cibernéticos de la arquitectura se han traducido en nuevos estilos arquitectónicos; imaginarios que reflejan ante todo una

fascinación por lo complejo y lo orgánico, y que, en la mayoría de los casos, han desatendido las cuestiones tectónicas de su producción material.

Entonces, al tiempo que las construcciones cibernéticas de la arquitectura han fortalecido el loable renacer del pensamiento utópico en la profesión, este mismo carácter utópico ha conducido con frecuencia a la producción de imaginarios de la arquitectura completamente desligados de los problemas concretos y apremiantes del habitar.

7.4 Prototipos: ¿la técnica como medio o como fin?

En lo que atañe al carácter prototípico de la arquitectura computacional, el panorama que presentan sus producciones coincide con las derivas propias de las exploraciones de carácter utópico. Aunque es significativo el interés en este campo por encontrar usos a los desarrollos tecnológicos con el fin de proponer mejores soluciones a los problemas de diseño – por ejemplo, en muchos casos este interés se ha articulado con la preocupación por racionalizar el consumo de recursos y minimizar el impacto medioambiental de los espacios construidos –, este interés ha venido de la mano con una firme creencia en el arreglo tecnológico, en el poder de la tecnología para resolver los problemas del habitar contemporáneo.

En consecuencia, muchas exploraciones de la arquitectura computacional constituyen ante todo visiones prospectivas de los procesos de diseño, y especialmente de la producción material de la arquitectura, definidas por condiciones tecnológicas que se encuentran lejos de ser aplicables en el grueso de la producción arquitectónica actual. Lo anterior se ha reflejado en una clara tendencia en este campo a producir proto-arquitecturas experimentales, definidas por escenarios de diseño excesivamente simplificados, o que sólo se concentran en los factores tecnológicos de su producción. De este modo se dejan por fuera de la reflexión una cantidad considerable de aspectos fundamentales para la elaboración de todo proyecto de arquitectura.

Al igual que en el caso anterior, mientras que las visiones tecno-científicas de la arquitectura cibernética han permitido imaginar escenarios donde los factores tecnológicos aparecen como un medio idóneo para explorar visiones ecológicas de los problemas de diseño, la consideración de los factores tecnológicos como aspecto central de la producción de la arquitectura ha derivado en experimentos desconectados, en muchos casos, de las realidades socio-políticas implícitas en el diseño del espacio. De este modo se ha abierto paso una

tendencia a considerar los problemas de la arquitectura desde una postura manifiestamente tecnocrática.

7.5 Ecologías: ¿ sistemas retroalimentados o la retroalimentación como estrategia retórica?

En lo que concierne al carácter ecológico de las elaboraciones de la arquitectura computacional, es significativo de ésta visión su profunda influencia para el desarrollo de diversas aproximaciones del diseño que han puesto en el centro de los problemas disciplinares cuestiones como la relación del edificio con el contexto y la percepción de los habitantes. Esta manera de concebir los problemas de la arquitectura ha sido profundamente relevante, no sólo para concebir nuevos escenarios de diseño tecnológicamente mediados, sino para la consolidación de una ética medioambiental en la profesión.

Sin embargo, la investigación de la concepción ecológica de la arquitectura parece haber confundido en muchos casos los medios y los fines. En múltiples ejemplos se observa de manera patente que la exploración del proceso de diseño como un sistema de retroalimentación se ha considerado como en un fin en sí mismo. Lo anterior aparece claramente en la abundante exploración de métodos orientados hacia la definición de procesos (homeostáticos, auto-organizados, emergentes) automatizados de diseño, donde la puesta en escena de una compleja gimnasia computacional, y formal, se pone por encima de la cuestión de la producción de una arquitectura realmente ecológica o sistémica.

En consecuencia, en el caso de las exploraciones ecológicas se observa la misma deriva propia del las construcciones utópicas y prototípicas de la arquitectura digital. Así, la idea de concebir de manera sistémica los problemas de diseño, visión que abre interesantes posibilidades para pensar la arquitectura como ecología, con frecuencia se ha limitado a la exploración metafórica de esta idea, que se ha materializado sobre todo en la definición de los procesos (computacionales) de diseño como sistemas autónomos, auto-regulados, etcétera.

Estas breves reflexiones permiten identificar cómo tres aspectos sobresalientes de las construcciones cibernéticas de la arquitectura pueden constituir valiosos aportes para la producción del espacio y del pensamiento arquitectónico contemporáneo, al tiempo que éstos han tendido a derivar en experimentos que, desde mi punto de vista, sólo tienen valor si se les considera como un ejercicio intelectual desligado del problema concreto de la arquitectura. Es

decir, de la cuestión de diseñar y construir espacios habitables significativos, capaces de responder a las condiciones complejas de un contexto específico.

Esta dualidad refleja un aspecto de las prácticas de arquitectura computacional que merece particular atención. Se trata de una tendencia, bastante común entre las elaboraciones en este campo, que consiste en pasar de la definición de escenarios para la producción de la arquitectura apoyados en discursos y tecnologías informacionales, a la definición de escenarios en los que estos recursos (discursos y tecnologías) se autonomizan de los múltiples factores que definen los problemas disciplinares de la arquitectura. Esta tendencia se puede asociar con lo que Katherine Hayles ha identificado, en su análisis del pensamiento cibernético, como el *backhand* y el *forehand* platónico.

7.6 El backhand y el forehand platónico en la arquitectura computacional

Hayles llama *backhand* platónico al trabajo, común en la ciencia, de inferir de la complejidad del mundo abstracciones simplificadas. Según la autora, un problema aparece cuando esta relación se invierte, es decir, cuando la abstracción viene a sustituir al fenómeno original. Por ejemplo, cuando se pasa de la concepción de un fenómeno en base a un modelo (la cibernética) que representa los fenómenos en el mundo como mecanismos comunicacionales, a concebir el universo como un vasto programa computacional. Este tipo de maniobra es lo que Hayles llama el *forehand* platónico (Hayles, 1999).

En las elaboraciones de la arquitectura computacional este tipo de maniobra es bastante común. De hecho es bastante habitual encontrar en sus producciones modelos que parten de una concepción de los problemas de diseño inspirada en metáforas tecno-científicas, y terminan planteando visiones de la arquitectura como cosificación de dichas metáforas.

Un buen ejemplo de lo anterior es el caso de los modelos inspirados en la codificación genética, que, mediante este tipo de estrategia, han pasado de la definición de procesos algorítmicos de diseño, a la consideración de los edificios como si fueran organismos genéticamente codificados. Del mismo modo, claramente no es lo mismo adaptar el modelo sistémico desarrollado por Bertalanffy a los problemas de la arquitectura, es decir, emplear una abstracción construida en el mundo de la ciencia para definir los problemas de diseño, que pensar en los edificios literalmente como sistemas abiertos, o sea, concebirllos como si fueran realmente organismos regulados por mecanismos homeostáticos.

Los ejemplos en los que las metáforas elaboradas para caracterizar los problemas de diseño se han confundido con los objetos concretos de la arquitectura abundan en este campo.

Así, aunque parece razonable pensar que los modelos científicos deberían operar en un plano metafórico en las elaboraciones del diseño computacional, en la práctica estas metáforas informacionales de los problemas disciplinares han sido confundidas a menudo con la arquitectura misma. En consecuencia las caracterizaciones tecno-científicas de los problemas disciplinares han aparecido frecuentemente desligadas de los problemas concretos de la arquitectura. En este sentido, en este campo se observa una oscilación entre el empleo de los discursos científicos como metáfora y la cosificación de estos discursos.

Algo similar ocurre con el empleo de las tecnologías de la información en este campo. Se trata de un fenómeno que es posiblemente, al menos en parte, el resultado de la cosificación de las metáforas informacionales sobre las cuales se han construido los imaginarios dominantes en las prácticas de arquitectura computacional. Aunque se asume que la tecnología debería ser concebida como un medio en la producción de la arquitectura, en muchos casos las cuestiones técnicas se han autonomizado de la compleja red de problemas que definen un problema de diseño, convirtiéndose su empleo en un fin en sí mismo. En este sentido, en la arquitectura computacional se observa una oscilación entre el empleo de la técnica como medio y el empleo de la técnica por la técnica.

El resultado de estos dos aspectos recurrentes, y estrechamente vinculados, en las prácticas de diseño computacional (la cosificación de los discursos y la autonomización de la técnica), ha sido la definición de escenarios de diseño donde tanto los problemas planteados, como los medios tecnológicos empleados, mantienen, en muchos casos, un vínculo bastante impreciso con los problemas centrales de la profesión.

Una explicación posible de esta dualidad es que una vez que la abstracción (el sistema abierto o el organismo genéticamente codificado, por ejemplo) ha sustituido el objeto concreto de la arquitectura (el edificio), parece una consecuencia normal que los modelos elaborados, al igual que los medios empleados, aparezcan desligados del objetivo de diseñar espacios significativos.

No obstante, esta deriva no tiene por qué ser una inevitabilidad, como lo pretenden quienes ven con desconfianza la introducción de nuevas herramientas tecnológicas en los procesos de producción de la arquitectura. Como se ha señalado arriba, la ontología y la pragmática informacional también pueden proveer valiosas herramientas, intelectuales y técnicas, para el

desarrollo de escenarios de diseño que no se encuentren encerrados en ficciones ciber-tecnológicas.

7.7 El análisis como herramienta

Una de las condiciones para el desarrollo de escenarios digitales de diseño que no se encuentren enfrascados en la cosificación de los imaginarios sobre los cuales se ha construido la arquitectura computacional, o en la fascinación con el empleo de la tecnología, es que los profesionales implicados en este campo asuman una posición crítica frente al desarrollo de esta perspectiva en la profesión. Como lo advertían William Mitchell y Malcom McCullough en *Digital Design Media*, para esto es necesario analizar las condiciones que han estructurado el trabajo intelectual de los arquitectos digitales (Mitchell & McCullough, 1995, p. 8).

Al señalar cómo una serie de aspectos relevantes para la construcción de la cultura informática han sido cruciales para la consolidación de esta perspectiva, uno de los objetivos de la reflexión aquí planteada ha sido contribuir a la comprensión compleja de los factores que han dado forma al campo de la arquitectura digital.

Como se ha visto en las páginas precedentes, el estudio de la evolución de las ideas sobre las cuales se ha consolidado este campo permite identificar diversos ejemplos en los que las elaboraciones cibernéticas de los problemas disciplinares pueden ser fructuosas para el ejercicio de la arquitectura, sin que por esto sus producciones tengan que limitarse a la construcción de imaginarios de ciencia ficción, o estar sujetas únicamente a las condiciones tecnológicas de su producción. Por otra parte, al identificar ciertos aspectos controversiales, la reflexión invita al desarrollo de una mirada crítica de la producción digital de la arquitectura, necesaria en un contexto en el que la informatización de la arquitectura se ha venido consolidando como la nueva vanguardia de la profesión.

8. Conclusiones

8.1 Narrativas cibernéticas y arquitectura computacional

A lo largo de esta disertación se han presentado diferentes escenarios que muestran de qué manera las visiones dominantes de los problemas de diseño construidas en el campo de la arquitectura computacional, mantienen un vínculo directo con el paradigma de pensamiento teorizado por los cibernéticos.

En base a un modelo de análisis que considera que los diferentes aspectos (políticos, científicos, tecnológicos, artísticos, etcétera) que definen “el mundo social de la vida”, o la cultura, se construyen juntos, el análisis propuesto parte de comprender de qué manera los discursos del *performance*, que han prevalecido como idea dominante en el campo de la arquitectura computacional, se desprenden de la visión de los fenómenos en el mundo promovida por la teoría cibernética.

Partiendo de esta constatación, expuesta en el capítulo 3, se ha tratado de mostrar cómo, alrededor de los mismos temas sobre los que se construyeron los discursos del *performance design*, se han elaborado nuevas visiones de la arquitectura que han sido pensadas en referencia a diferentes campos del conocimiento científico, igualmente herederos del paradigma informacional. Junto con los temas tratados en los capítulos 4, 5 y 6, este análisis pretende señalar

8.1 Narratives cybernétiques et architecture numérique

A travers cette recherche ont été présentés divers scénarios qui montrent de quelle façon les visions dominantes des problèmes de conception construites dans le domaine de l'architecture digitale gardent un lien direct avec les paradigmes de pensée théorisés par les cybernéticiens. A partir d'un modèle d'analyse qui considère que les divers aspects (politiques, scientifiques, technologiques, artistiques, etc.) qui définissent « le monde social de la vie », c'est-à-dire la culture, se construisent ensemble, l'analyse part de la compréhension de la manière dont les discours de la performance, qui ont prévalués comme idée dominante dans ce domaine, proviennent de la vision des phénomènes dans le monde avancée par la théorie cybernétique.

A partir de cette constatation, exposée dans le chapitre 3, la thèse explore comment autour des mêmes sujets sur lesquels se sont construits les discours du « performance design » se sont développés des nouvelles visions de l'architecture qui ont été conçues en référence à d'autres champs de la connaissance scientifiques, également héritiers du paradigme informationnel. Avec les sujets traités dans les chapitres 4, 5 et 6, l'analyse démontre les liens existants entre les narratives cybernétiques et les discours sur lesquels s'est basée la pratique numérique de l'architecture. Dans ce sens là, les modèles digitaux de conception apparaissent comme un exemple du type d'échange des idées entre la cybernétique et d'autres domaines de la connaissance que Bowker définit comme un « effet de triangulation » dans son article « How to be universal : some cybernetics strategies ».

los vínculos existentes entre las narrativas cibernéticas, y los discursos sobre los cuales se ha sustentado la práctica computacional de la arquitectura. En este sentido los modelos computacionales de diseño aparecen como un ejemplo del tipo de intercambio de ideas entre la cibernética y diferentes disciplinas que Bowker define como un “efecto de triangulación” en su artículo *How to Be Universal: Some Cybernetic Strategies*.⁶⁹

Con el fin de ilustrar lo anterior, se ha propuesto una mirada a ciertos aspectos del desarrollo y evolución de la perspectiva computacional en la arquitectura como un proceso en el que la producción de nuevas metodologías de diseño, basadas en el empleo de las herramientas informáticas, ha sido indisoluble de la construcción de nuevos discursos sobre la arquitectura profundamente permeados por una serie de ideas heredadas de diferentes campos del conocimiento estrechamente relacionados con la teoría cibernética.

En el capítulo 4, partiendo del análisis del vínculo entre la teoría de sistemas y la teoría cibernética, se señaló de qué manera la visión sistémica subyace a la concepción de la arquitectura explorada por diversas prácticas de diseño computacional: su visión holística de los problemas de diseño y la definición de los objetos arquitectónicos como sistemas abiertos, dinámicos y homeostáticos. El análisis planteado también indaga sobre el impacto de estos imaginarios para el desarrollo de una nueva “biologización” de la arquitectura, propia de muchas producciones computacionales.

Avec l'objectif d'illustrer cette triangulation, on a proposé un regard sur certains aspects du développement et de l'évolution de la perspective numérique en architecture comme un processus dans lequel la production de nouvelles méthodes de conception, basée sur l'emploi des outils informatiques, a été indissociable de la construction des nouveaux discours sur l'architecture pénétrés par les idées cybernétiques.

Dans le chapitre 4, à partir de l'analyse du lien entre la théorie des systèmes et la théorie cybernétique, a été indiqué de quelle manière la vision systémique est sous-jacente à la vision de l'architecture explorée par diverses pratiques d'architecture numérique : sa vision holistique des problèmes de conception et la définition des objets architecturaux comme des systèmes ouverts, dynamiques, et homéostatiques. Cette analyse cherche aussi l'impact de ces imaginaires pour le développement d'une nouvelle « biologisation » de l'architecture, propre à plusieurs productions numériques.

Suivant cette idée, dans le chapitre 5 est examiné la connexion existante entre les modèles génétiques de conception et la pensée informationnelle. Ceci prenant en compte l'importance de l'influence du modèle cybernétique dans le développement des deux champs de recherche dans la biologie, la biologie moléculaire et la bioinformatique, qui ont influencé les imaginaires de l'architecture digitale. De cette manière, il a été observé un lien entre les caractérisations cybernétiques de l'architecture et sa conception comme un mécanisme génétiquement codifié, comme des systèmes adaptatifs dessinés à travers des systèmes d'échantillonnages stochastiques, et comme des systèmes émergents qui pourraient éventuellement devenir biologiques.

⁶⁹ Véase al respecto: capítulo 2, pp. 43-45

Siguiendo esta pista, en el capítulo 5 se examinó la conexión existente entre los modelos genéticos de diseño y el pensamiento informacional. Lo anterior teniendo en cuenta la importancia de la influencia del modelo cibernético en el desarrollo de dos campos de investigación en la biología, la biología molecular y la biología computacional, que han permeado profundamente los imaginarios de la arquitectura digital. De este modo se ha examinado el vínculo entre las caracterizaciones cibernéticas de la arquitectura y su concepción como un mecanismo codificado genéticamente, como sistemas adaptativos diseñados mediante mecanismos algorítmicos de búsqueda estocástica, y como sistemas emergentes que podrían eventualmente alcanzar la biología.

En el capítulo 6 se estudió cómo la concepción de la arquitectura como un sistema emergente, visión propia de los modelos genéticos y otras exploraciones algorítmicas del diseño, ha dado paso a la representación de los objetos arquitectónicos como fenómenos complejos. A partir del análisis de la relación entre la cibernética y la ciencia de la complejidad, se ha explorado cómo los modelos emergentes de diseño se han construido en base a las nociones centrales promovidas por este modelo científico. El análisis muestra cómo desde este paradigma de pensamiento los edificios han sido concebidos como sistemas emergentes y auto-organizados, como el resultado de la interacción de múltiples elementos, incluidos los aspectos materiales de la arquitectura, de los cuales surge una realidad espacial compleja.

Dans le chapitre 6, il a été étudié de quelle façon la conception de l'architecture comme un système émergent, vision propre au modèle génétique et autres explorations algorithmiques du dessin, a donné lieu à la représentation des objets architecturaux comme des phénomènes complexes. En analysant la relation entre la cybernétique et la science de la complexité, il a été exploré de quelle manière les modèles émergents de conception se sont construits sur les notions centrales de ce dernier modèle scientifique. L'analyse montre comment depuis ce paradigme de pensée les objets architecturaux ont été conçus comme des systèmes émergents et auto-organisés, comme le résultat de l'interaction de multiples éléments, y compris les aspects matériaux de l'architecture, interaction de laquelle est née une réalité spatiale complexe.

Cette approche de l'évolution de quelques idées qui ont donné forme à la perspective digitale en architecture confirme la thèse selon laquelle l'hypothèse de la recherche s'est structurée. A savoir, que l'exploration de l'emploi de l'informatique dans la conception architectural a été inséparable de la construction des visions des problèmes disciplinaires qui se dégagent de l'ontologie promu par la théorie cybernétique, de sa conception de la nature des choses dans le monde. Seulement en comprenant cela on peut penser comment l'architecture est arrivé à être conçue comme un système gouverné par les mêmes facteurs qui définissent les mécanismes cybernétiques: communication, retro alimentation, codification, intégration, autorégulation, auto organisation, etc.

Comme cela a été vu précédemment, ces visions des problèmes disciplinaires se sont articulées avec le développement des techniques et méthodes de conception correspondantes, qui incluent notamment la définition paramétrique de l'architecture, le développement des techniques algorithmiques de projection, et l'articulation dans les processus de conception des divers outils de simulation et analyse. Cette pragmatique numérique n'a pas seulement permis de définir les processus de conception comme des systèmes retro alimentés basés sur la manipulation des flux d'information, mais

Esta mirada a la evolución de algunas de las ideas dominantes que han dado forma a la perspectiva computacional en la arquitectura confirma la tesis sobre la cual se ha estructurado el argumento de la disertación. **A saber, que la exploración de los usos de la informática en el diseño arquitectónico ha sido inseparable de la construcción de visiones de los problemas disciplinares que se desprenden de la ontología promovida por la teoría cibernética, de su concepción de la naturaleza de las cosas en el mundo.** Solamente si se comprende lo anterior puede entenderse cómo la arquitectura ha llegado a ser pensada como un sistema gobernado por los mismos factores que rigen a los mecanismos cibernéticos: comunicación, retroalimentación, codificación, integración, auto-regulación, auto-organización, etcétera.

Como se ha visto mediante el desarrollo de los temas planteados, estas visiones de los problemas de la arquitectura se han articulado con el desarrollo de técnicas y metodologías de diseño correspondientes, que incluyen notablemente la definición paramétrica de la arquitectura, el desarrollo de técnicas algorítmicas de proyectación y la articulación en los procesos de diseño de diferentes herramientas de simulación y análisis. Esta pragmática computacional no sólo ha permitido definir los procesos de diseño como sistemas de retroalimentación basados en la manipulación de flujos de información, sino que además ha reforzado los imaginarios cibernéticos de los problemas disciplinares.

Es en este sentido que se puede afirmar que el paradigma informacional en la profesión ha operado a

elle a permis de renforcer les imaginaires cibernétiques des problèmes disciplinares.

C'est dans ce sens que l'on peut affirmer que le paradigme informationnel dans l'architecture a opéré à la fois comme ontologie et comme pragmatique de sa production digitale. Ici apparaît le second aspect des hypothèses avancées. Il s'agit du fait que en étant considéré comme le résultat d'une dynamique qui implique tant les technologies de l'information comme la vision informationnelle du monde, les productions de l'architecture numériques, doivent être pensées comme un « travail de médiation » dont la compréhension ne peut pas être limitée à la question de l'impact de l'informatique dans la profession.

Pour illustrer le précédent il suffit d'observer dans quel sens l'évolution des idées sur lesquelles s'est construit la perspective digitale en architecture, telle que celle-ci a été présentée ici, peut être expliquée comme un système de sériation, dans le sens de ce qui est proposé par Katherine Hayles pour montrer le développement parallèle du monde de la technique et du monde des idées (Hayles, 1999).

Comme cela a été montré, les premières expériences avec l'informatique dans l'architecture étaient inséparables de la définition, sous l'influence du paradigme cibernétique, des nouvelles manières de penser le statut des objets architecturaux. C'était de cette manière que l'architecture a commencé à être conçue comme un phénomène gouverné par une logique communicationnelle. Ce changement de paradigme a donné lieu, d'un côté, au développement de nouvelles méthodes de conception médiatisée par des techniques basées sur la manipulation de données et, de l'autre côté, à la construction de nouveaux imaginaires des objets architecturaux en référence à des concepts hérités du monde de la science, particulièrement des modèles développés sous l'influence des discours de l'information. De cette manière c'est établi une dynamique dans laquelle les imaginaires cibernétiques de l'architecture ont motivés le développement

la vez como ontología y como pragmática de la producción computacional de la arquitectura. Aquí aparece el segundo aspecto de la tesis sobre la cual se ha construido el argumento. **Se trata del hecho que al ser concebidas como el resultado de una dinámica que involucra tanto las tecnologías de la información, como la visión informacional del mundo, las producciones de la arquitectura digital deben ser pensadas como un “trabajo de mediación”, cuya comprensión no puede limitarse a la cuestión del impacto de la informática en la profesión.**

Para ilustrar lo anterior basta observar en qué sentido la evolución de las ideas sobre las que se ha construido la perspectiva computacional en la arquitectura, tal como ésta ha sido presentada a lo largo de la disertación, puede explicarse como un sistema de seriación, tal como éste ha sido expuesto por Katherine Hayles,⁷⁰ para mostrar el desarrollo paralelo del mundo de la técnica y del mundo de las ideas (Hayles, 1999).

Como se ha señalado aquí, las primeras exploraciones del empleo de la informática en el diseño fueron inseparables de la elaboración, bajo la influencia del paradigma cibernético, de nuevas maneras de concebir el estatus de los hechos arquitectónicos. Fue de este modo que comenzó a pensarse la arquitectura como un fenómeno gobernado por una lógica comunicacional. Este cambio de paradigma dio paso, por una parte, al desarrollo de nuevas metodologías de concepción mediadas por técnicas basadas en la manipulación de datos, y, por otra parte, a la

des méthodes informationnelles de conception, en même temps que l'emploi de ces derniers a renforcé des visions informationnelles dans l'architecture.

De cette dynamique ont émergé diverses manières de concevoir les problèmes disciplinaires, basés sur l'application (ou développement) permanent des nouveaux outils informatiques, ainsi que sur l'introduction de nouvelles références technoscientifiques qui, crucialement, s'inscrivent elles aussi dans l'épistème informationnel. Dans ce sens l'évolution de l'architecture numérique apparaît comme un processus de retro-alimentation entre concepts et technologies informationnelles qui ont impulsé de manière permanente le développement de nouvelles explorations théoriques et pratiques (fig.1).

Dans l'introduction de la thèse il a été avancé que la compréhension de cette dynamique est une condition pour la construction d'un regard critique de la production digitale de l'architecture, nécessaire dans un contexte où cette approche s'est peu à peu consolidée comme la nouvelle avant-garde de la profession. Dans ce sens l'analyse a été conçue comme un outil qui devrait aider à répondre à la question sur la manière dont les élaborations cybernétiques de l'architecture sont significatives, ou non, pour la pratique professionnelle dans le contexte actuel.

Pour répondre à cette question, la réflexion avancée dans le chapitre 7 discute de quelle façon le caractère utopique, prototypique, et écologique des constructions cybernétiques analysées tout au long de la thèse, représente un précieux apport pour la production de la pensée et de l'espace architectonique contemporain. En même temps, la discussion met en exergue dans quel sens ces mêmes aspects mettent en évidence une tendance, très commune parmi les élaborations dans ce domaine, qui consiste à passer de la définition de scénarios pour la production de l'architecture basés sur des discours et technologies informationnelles, à la définition de scénarios dans lesquels ces

⁷⁰ Véase al respecto: capítulo 2, p.30

construcción de nuevos imaginarios de los objetos arquitectónicos en referencia a conceptos heredados del mundo de la ciencia, particularmente de modelos desarrollados bajo el influjo de los discursos de la información. De este modo se ha establecido una dinámica en la que los imaginarios cibernéticos de la arquitectura han impulsado el desarrollo de métodos informacionales de diseño, al tiempo que el empleo de estos últimos ha reforzado la construcción de visiones informacionales de la arquitectura.

De esta dinámica circular han surgido diversas maneras de pensar los problemas disciplinares, basadas en la aplicación (o desarrollo) permanente de nuevas herramientas informáticas, al igual que en la introducción en sus elaboraciones de nuevas referencias tecno-científicas, que, crucialmente, también se inscriben dentro del espítame informacional. En este sentido la evolución de la arquitectura digital aparece como un proceso de retroalimentación entre conceptos y tecnologías informacionales, que ha dado un impulso permanente al desarrollo de nuevas exploraciones teóricas y prácticas (Fig.1).

recours (discours et technologie) s'autonomisent de la multiplicité des facteurs qui définissent les problèmes disciplinaires de l'architecture.

En présentant un panorama ample qui identifie les conditions intellectuelles sur lesquelles se sont structurées les productions digitales de l'architecture, l'étude permet d'analyser les possibles causes de cette tendance, en même temps qu'il montre les potentiels du modèle cybernétique pour penser une architecture qui ne soit pas forcément limitée à la production de fictions cyber technologiques.

8.2 Etendue et limites de l'étude

Il est important de clarifier que l'emphase mis sur l'étude de l'influence de la pensée informationnelle dans l'architecture n'ignore pas la pertinence d'une multiplicité de facteurs de la production architecturale qui ne rentrent dans cette approche. Même si il est évident que tous les facteurs laissés de côté par l'analyse sont fondamentaux pour la construction de la connaissance de l'architecture, il est considéré qu'une meilleure compréhension des sujets traités ici contribue à mieux situer l'émergence et l'évolution de la perspective numérique en architecture. Comme cela a déjà été mentionné par ailleurs, Celle-ci est une condition pour le développement d'une posture critique face à un phénomène qui, dans les dernières années, a gagné de plus en plus d'adeptes parmi les jeunes architectes et également parmi les pratiques professionnelles établies et les cercles académiques.

Il faut également rappeler que l'architecture numérique est un terrain de recherche expérimental, et en pleine expansion, qui se nourrit d'une grande variété de références croisées à des divers modèles technologiques et scientifiques. Ces facteurs entraînent une certaine difficulté pour construire un panorama global des explorations cybernétiques de l'architecture menées dans ce domaine.

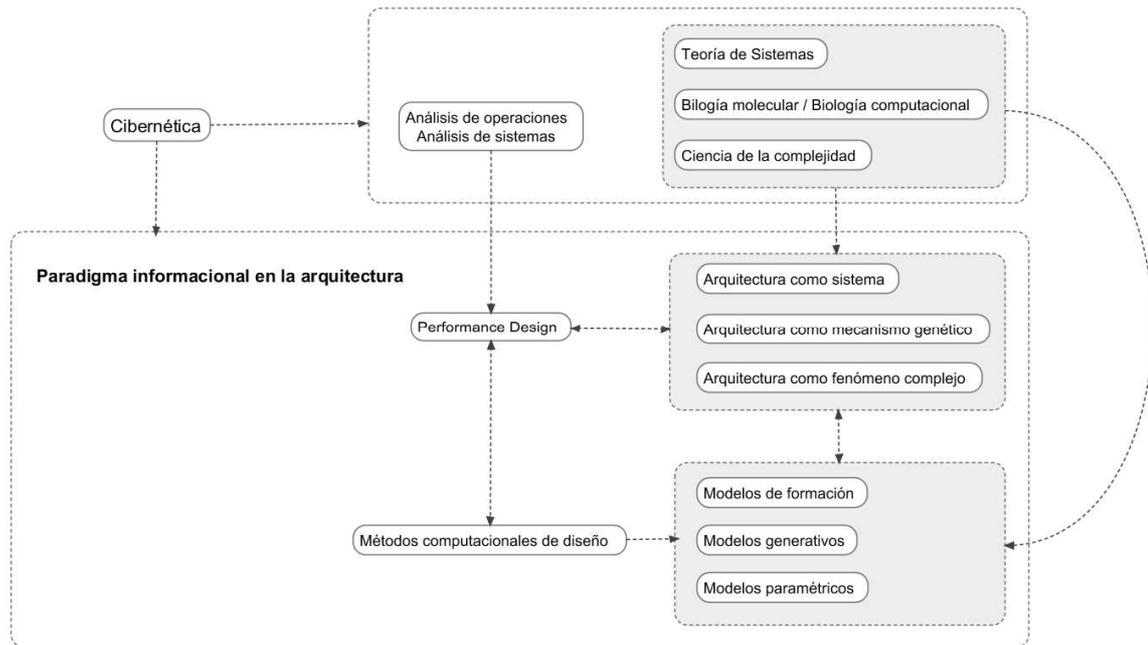


Figura 1. El diagrama precedente muestra cómo a partir del cambio de paradigma en la arquitectura, que se desprende del pensamiento cibernético, ha existido una relación estrecha entre los modelos de diseño elaborados, las técnicas desarrolladas y diversos conceptos heredados de campos del conocimiento científico cercanos al paradigma informacional.

En la introducción de la disertación se señaló que la comprensión de lo anterior es una condición para la construcción de una mirada crítica de la producción computacional de la arquitectura, necesaria en un contexto en el que este campo se ha venido consolidando como la nueva vanguardia de la profesión. En este sentido, el análisis fue planteado como una herramienta que debería ayudar a responder a la pregunta sobre cómo las elaboraciones cibernéticas de la arquitectura son significativas, o no, para la práctica de la profesión en el contexto actual.

Para responder a esta pregunta, en la reflexión presentada en el capítulo 7 se ha tratado de señalar cómo el carácter utópico, prototípico y ecológico de las construcciones cibernéticas de la arquitectura analizadas a lo largo de la disertación, representa

Pour les mêmes motifs, la décision de cataloguer ces pratiques d'après des tendances, ou des modèles, bien définis est d'une certaine façon arbitraire. En effet, à cause de son interdisciplinarité, plusieurs pratiques numériques contemporaines peuvent se situer à la fois dans des divers catégories énoncés ici, ou elles peuvent correspondre à d'autres modèles qui ne sont pas compris dans cette analyse. Pour la même raison, la décision d'établir une relation directe entre un type d'approche et un modèle scientifique de référence en particulier, par exemple, entre la théorie des systèmes et la définition de l'architecture comme un phénomène holistique, est d'une certaine manière simpliste. La décision de cataloguer différentes pratiques sous des catégories communes, et de les analyser en fonction des relations les plus évidentes des pratiques en question avec un modèle de pensée en particulier, répond à l'intérêt de souligner l'influence de la pensée cybernétique dans chacun des cas d'étude proposés.

valiosos aportes para la producción del pensamiento y del espacio arquitectónico contemporáneo. Al mismo tiempo la discusión planteada señala en qué sentido estos mismos aspectos se han relacionado con una tendencia, bastante común entre las elaboraciones en este campo, que consiste en pasar de la definición de escenarios para la producción de la arquitectura apoyados en discursos y tecnologías informacionales, a la definición de escenarios en los que estos recursos (discursos y tecnologías) se autonomizan de los múltiples factores que definen los problemas disciplinares de la arquitectura.

Al presentar un panorama amplio que identifica las condiciones intelectuales sobre las que se han estructurado las producciones digitales de la arquitectura, el estudio planteado permite analizar las posibles causas de esta tendencia, al tiempo que señala el potencial del modelo cibernético para pensar una arquitectura que no se encuentre necesariamente enfrascada en ficciones ciber-tecnológicas.

8.2 Alcance y limitaciones del estudio

Es importante aclarar que el énfasis puesto en el estudio del influjo del pensamiento informacional en la arquitectura no pretende en ningún momento ignorar la relevancia de una multiplicidad de factores de la producción arquitectónica que no entran en este esquema. Aunque es evidente que todos los factores que el análisis propuesto deja de lado son fundamentales para la construcción del conocimiento de la arquitectura, considero que una mejor

Pour expliquer cette série de simplifications, la thèse avancée par Gregory Bateson (un cybernéticien!) sur la classification de la culture en catégories se révèle utile. Pour Bateson les catégories « ne sont pas des subdivisions réelles » mais « tout simplement des abstractions que l'on fabrique pour des raisons de commodité » pour faciliter la tâche de décrire un sujet d'étude. Il ne faut pas oublier que les pratiques culturelles ne sont pas, comme le dirait Bateson, « les étiquettes pour les divers points de vues que l'on adopte pour l'analyse. » (Bateson, 1990, p. 79)

Evidemment le spectre des pratiques de dessin numérique, et la multiplicité des références qui les unit au paradigme informationnelle, et également l'influence de ce paradigme dans divers champs de la connaissance, est beaucoup plus vaste et complexe que ce que la portée de ce travail permet de montrer (les figures 2 et 3 illustrent la différence entre le traitement donné ici au problème de recherche et les relations complexes qui peuvent être établis entre quelques uns des sujets traités).

Ainsi ce travail de réflexion ne doit pas être pensé comme une analyse complète de l'influence cybernétique dans le domaine de l'architecture numérique, sinon, comme une étude qui aspire à montrer quelques des aspects les plus évidents de la pénétration de la pensée informationnelle dans ce terrain.

Bien sur, une étude qui englobe plusieurs fronts souffre nécessairement de superficialité. C'est sans doute le cas de cette recherche. A travers le développement des sujets traités j'ai pu constater que la question de la pénétration du paradigme cybernétique dans l'architecture est un sujet étendu. Ainsi son étude détaillée exige une définition des problèmes de recherche plus délimités. Cependant cette limitation de l'étude est compensée par la compréhension d'un horizon ample qui permet d'identifier des multiples perspectives de recherche.

comprensión de los temas aquí tratados contribuye a situar la emergencia y evolución actual de la perspectiva computacional en la arquitectura. Como se mencionó arriba, esta es sin duda una condición para el desarrollo de una postura crítica frente a un fenómeno que en los últimos años ha venido ganando cada vez más adeptos entre los arquitectos jóvenes, al igual que entre muchas prácticas establecidas y en los círculos académicos.

También cabe señalar que la arquitectura computacional constituye un terreno de investigación experimental, y en plena expansión, que se ha alimentado de una gran variedad de referencias cruzadas a diversos modelos tecno-científicos. Estos factores han planteado cierta dificultad para construir un panorama global de las exploraciones cibernéticas del diseño llevadas a cabo en este campo.

Por los mismos motivos, la decisión de catalogar sus prácticas en tendencias, o modelos, bien definidas es de alguna manera arbitraria. De hecho, por su interdisciplinaridad misma, muchas de las prácticas de diseño contemporáneas pueden situarse a la vez en varias de las categorías aquí planteadas, o pueden corresponder a otros modelos que no se incluyen en este análisis. Por la misma razón, la decisión de establecer una relación directa entre un tipo de aproximación y un modelo científico de referencia en particular, por ejemplo, entre la teoría de sistemas y la definición de la arquitectura como un fenómeno holístico, es de cierto modo reductora. La decisión de agrupar diferentes prácticas bajo categorías comunes, y de analizarlas en base a las relaciones más evidentes de las prácticas en cuestión con un modelo de

8.3 Perspectives de recherche

L'étude de l'influence du paradigme cybernétique dans l'architecture ouvre un grand éventail des possibilités qui méritent d'être examinées, et qui ont à peine été mentionnées dans mon travail.

Par exemple parmi les idées qui ont été explorées, mais que pour des diverses raisons n'ont pas pu être introduites dans mon schéma, apparaissent des questions comme le rapport entre cybernétique, science fiction et architecture ; le rôle de l'algorithme comme forme symbolique dans l'architecture ; et l'influence cybernétique dans l'architecture non numérique des figures comme Cedric Price, Archigram, et Nicolas Schoffer, entre autres. Identifiées ces diverses perspectives de recherche, le modèle d'analyse ici proposé devrait servir comme point de départ pour des problématiques mieux délimitées.

Mon implication dans ce domaine a inclut également une exploration de l'emploi des outils de dessin paramétriques, dans le cadre de ma participation à l'ENSAG comme enseignant-assistant du master «Architecture, Ambiances et Cultures Numériques », programme académique adjoint du laboratoire Cresson.

Dans ce contexte j'ai travaillé au développement d'une méthodologie de conception orientée vers l'exploration de l'usage des outils de dessin paramétrique comme support pour l'agenda de recherche sur la conception et l'analyse de l'espace développé par le Cresson. Il s'agit d'une recherche en cours qui prétend, prenant en compte la proximité entre les visions cybernétiques de l'architecture et la vision de l'espace habitable promu par le Cresson, explorer la pertinence de la mise en pratique d'une logique relationnelle dans la conception pour soutenir une pratique écologique de l'architecture (voir annexe).

pensamiento en particular, responde al interés de subrayar el influjo del pensamiento cibernético en cada uno de los casos de estudio planteados.

Para explicar esta serie de simplificaciones resulta útil la explicación propuesta por Gregory Bateson (¡un cibernético!) de la clasificación de la cultura en categorías. Para Bateson las categorías “no son subdivisiones reales” sino “simplemente abstracciones que fabricamos por razones de comodidad” para facilitar la tarea de describir un objeto de estudio. No hay que olvidar que las prácticas culturales no son, como diría Bateson, “las etiquetas para los diferentes puntos de vista que adoptamos para el análisis.” (Bateson, 1990, p. 79)

Evidentemente el espectro de las prácticas de diseño computacional y la multiplicidad de referencias que las unen al paradigma informacional, al igual que la influencia de este paradigma en múltiples campos del conocimiento, es mucho más amplio y complejo que lo que permite mostrar el alcance de este trabajo (las figuras 2 y 3 ejemplifican la diferencia entre el tratamiento aquí dado al problema de investigación planteado y las relaciones complejas que pueden establecerse entre algunos de los temas planteados).

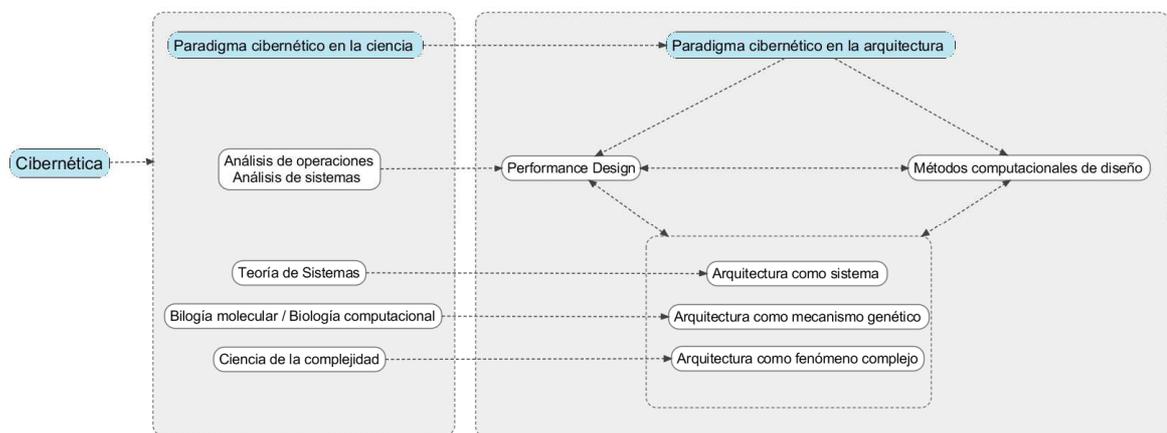


Figura 2. Esquema del tratamiento de los temas propuestos en la disertación.

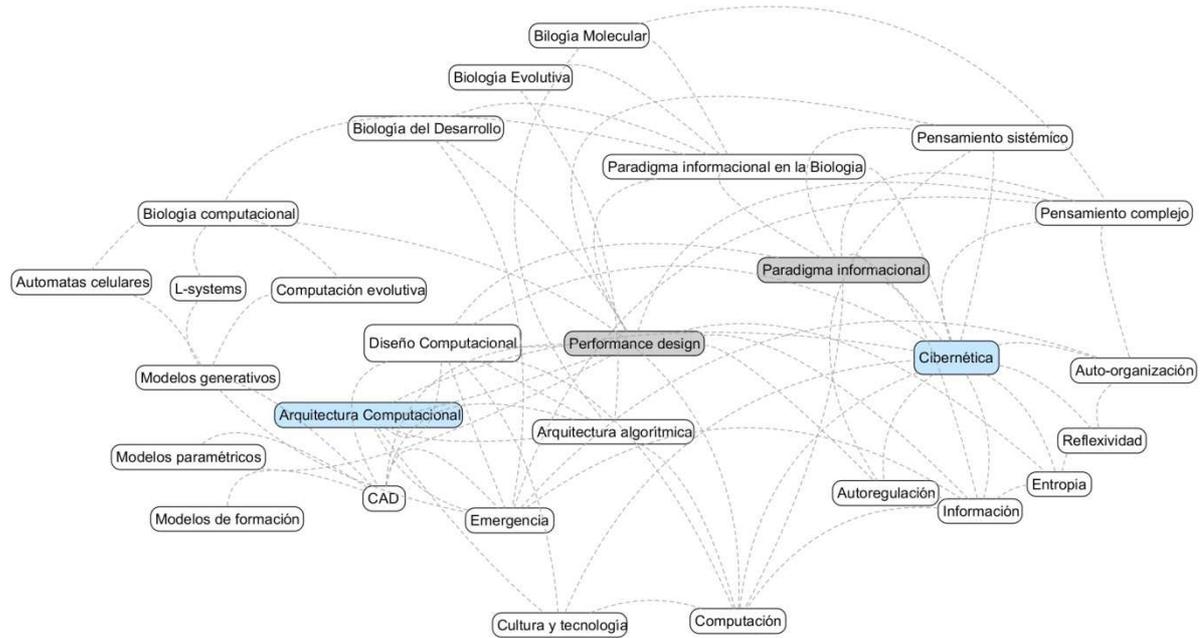


Figura 3. Representación de las relaciones posibles entre algunos de los temas abordados.

Teniendo en cuenta lo anterior, el trabajo de reflexión presentado no debe pensarse como un análisis completo del influjo cibernético en el campo de la arquitectura computacional, sino como un estudio que pretende señalar algunos de los aspectos más evidentes de la penetración del pensamiento informacional en este terreno.

Desde luego, un estudio que abarca demasiados frentes adolece necesariamente de cierta superficialidad. Este es sin duda el caso de esta disertación. A través del desarrollo de los temas planteados he podido constatar que la cuestión de la penetración del paradigma cibernético en la arquitectura computacional es un tema extenso. Por lo tanto su estudio minucioso exige definir problemas de investigación mejor delimitados. No obstante, esta limitación del estudio presentado es compensada por la comprensión de un horizonte amplio, que permite identificar múltiples perspectivas de investigación.

8.3 Perspectivas de investigación

El estudio del influjo del paradigma cibernético en la arquitectura abre un enorme abanico de posibilidades que merecen ser examinadas, y que en mi trabajo apenas han sido mencionadas.

Por ejemplo, entre las ideas que he explorado, pero que por diferentes motivos no he podido introducir en mi esquema, se cuentan cuestiones como la relación entre la cibernética, la ciencia ficción y la arquitectura; el rol del algoritmo como forma simbólica en la arquitectura; al igual que la influencia cibernética en la arquitectura no-computacional de figuras como Cedric Price, Archigram y Nicolas Schöffer, entre otros. Identificadas estas diferentes perspectivas de investigación, el modelo de análisis aquí planteado debería servir como punto de partida para el estudio de problemas mejor acotados.

Mi implicación en este campo también ha incluido una exploración del empleo de las herramientas de diseño paramétrico, en el marco de mi participación en la ENSAG⁷¹ como profesor asistente del máster "*Architecture, Ambiances et Cultures Numeriques*", programa académico adjunto del laboratorio Cresson.⁷²

En este contexto he venido trabajando en el desarrollo de una metodología de diseño orientada a explorar el empleo de las herramientas de diseño paramétrico como soporte para la agenda de investigación sobre el diseño y el análisis del espacio construido elaborada por el laboratorio Cresson. Se trata de una investigación en curso que pretende, teniendo en cuenta la cercanía entre las visiones cibernéticas de la arquitectura y la concepción de los espacios habitables promovidos por el Cresson, explorar la relevancia de la implementación de una lógica relacional en el diseño para apoyar una práctica ecológica de la arquitectura (ver Anexo).

⁷¹ Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble.

⁷² Centre de recherche sur l'espace sonore et l'environnement urbain.

9. Anexo

Propuesta para la instrumentalización paramétrica del análisis atmosférico del espacio

9.1 Resumen

Entre los aspectos fructíferos que se desprenden de las construcciones cibernéticas de la arquitectura se encuentra un cambio de paradigma en la definición de los problemas de diseño, que ha sido fundamental para el desarrollo de una concepción ecológica de los espacios construidos. Esta visión ecológica de los problemas de la arquitectura, ineludible en el contexto actual, también se encuentra en el centro de los problemas de investigación planteados por el laboratorio Cresson,⁷³ centro de investigación al que he estado vinculado en los últimos años como profesor asistente del máster “*Architecture, Ambiances et Cultures Numériques*”. Este programa académico explora el empleo de las herramientas digitales de diseño y fabricación, en correspondencia con las investigaciones sobre el espacio construido desarrolladas por el laboratorio.

En este contexto he trabajado en el desarrollo de una metodología de proyectación, orientada a explorar el potencial de las herramientas de diseño paramétrico como soporte para la agenda de investigación elaborada por el Cresson. El modelo propuesto, basado en una aproximación diagramática al diseño, persigue dos objetivos. En primer lugar, el modelo pretende ser un aporte a la discusión sobre cómo instrumentalizar el análisis atmosférico del espacio, promovido por el Cresson, en el desarrollo del proyecto de arquitectura. En segundo lugar, el modelo se plantea como una herramienta pedagógica que debería permitir a los estudiantes del máster explorar el potencial de la concepción cibernética del diseño para el desarrollo de una arquitectura capaz de responder a las condiciones de su contexto.

En las páginas siguientes, a partir de una breve descripción de la visión de los problemas de la arquitectura vehiculada por el laboratorio Cresson y del concepto de diseño paramétrico, se señala el potencial de la integración de las herramientas paramétricas para la exploración de la concepción atmosférica del espacio. Posteriormente se presenta el modelo elaborado, un ejemplo de su

⁷³ El laboratorio Cresson (*Centre de Recherche sur l'Espace Sonore Urbain*) es un centro de investigación asociado a la *Ecole Nationale Supérieure d'architecture de Grenoble*, que ha explorado una concepción de los espacios arquitectónicos y urbanos como fenómenos determinados por una multiplicidad de factores “ambientales” (aspectos materiales, sociales y atmosféricos) que participan en su consolidación.

aplicación en un problema de diseño concreto, y algunas conclusiones sobre una primera tentativa de su aplicación en el estudio de diseño.

9.2 La concepción atmosférica de la arquitectura

Desde hace más de dos décadas el laboratorio Cresson ha venido desarrollando una agenda de investigación que indaga sobre los fenómenos sensibles de los espacios arquitectónicos y urbanos. La noción fundamental alrededor de la cual se ha desarrollado esta agenda es la de atmósfera, o ambiente (*ambiance*), concepto que ha sido empleado para definir los espacios habitables como el resultado de los diversos factores que los definen. Entonces, aunque por ambiente se hace referencia al espacio construido, se trata de una visión que tiene en cuenta, además de las características físicas de la arquitectura y la ciudad, los diversos factores y relaciones que entran en juego en su definición: aspectos materiales, sociales y sensibles. En este sentido las investigaciones desarrolladas por el laboratorio se extienden a las “múltiples dimensiones de la percepción *in situ* y de las prácticas de los espacios construidos, al tiempo que interrogan y experimentan la instrumentalización del ambiente sensible en el proyecto arquitectónico y urbano.” (Laboratorio Cresson, 2012)

Esta visión de los problemas de la arquitectura mantiene un estrecho vínculo con los modelos cibernéticos desarrollados en el campo del diseño computacional. De hecho los promotores de la visión atmosférica promovida por el Cresson, se apoyaron en sus inicios en referencias al trabajo de algunos de los arquitectos que imaginaron nuevas elaboraciones de la arquitectura en base al modelo cibernético, entre ellos Pierre Schafer y Cedric Price.

Crucialmente, el laboratorio Cresson también ha promovido una aproximación al estudio de los espacios arquitectónicos y urbanos que, al igual que los modelos cibernéticos, parte de considerarlos como la materialización de una compleja red de factores interrelacionados. En correspondencia con esta visión, el laboratorio ha explorado diferentes maneras de analizar las realidades construidas, y los problemas de diseño, alrededor de tres temas: medio ambiente, proyecto y sociedad.

Alrededor del tema de medio ambiente las investigaciones se han centrado en aspectos relacionados con los elementos y los materiales en la arquitectura, con el vínculo entre los recursos culturales y los recursos físicos de un lugar, y con el desarrollo de estrategias sustentables de concepción. En torno al tema de proyecto, se ha establecido una agenda basada en la concepción de los ambientes como un campo de investigación y como un campo de intervención práctica. De este modo se ha

desarrollado una “postura de implicación a partir de la cual los procesos de conocimiento y los procesos de transformación de un ambiente aparecen estrechamente imbricados.” (Laboratorio Cresson, 2012) Lo anterior ha incluido el desarrollo de herramientas metodológicas y de una postura experimental que buscan dar un carácter operacional al concepto de ambiente, y aprender lecciones de estas experiencias en términos del diseño del espacio. Finalmente, alrededor del tema de sociedad, se ha promovido la idea que todo espacio, arquitectónico o urbano, se inscribe siempre dentro de un contexto histórico y social. En este sentido las investigaciones del laboratorio han apuntado a contribuir al desarrollo de una cultura sensible de los espacios habitables, al desarrollo de una ecología sensible del cuerpo en acción, y a especificar el carácter irreductible de los problemas de diseño (Laboratorio Cresson, 2012).

A pesar de la variedad de aspectos que estas tres temáticas envuelven, a estas subyace siempre la misma consideración. Se trata de la idea que para comprender, o proyectar, adecuadamente una realidad arquitectónica o urbana, es necesario conocer el impacto de una diversidad de factores que participan en la consolidación de tales realidades. Por este motivo un factor crucial de las investigaciones del laboratorio ha sido el desarrollo de una serie de herramientas de análisis de los diferentes aspectos “ambientales” que definen un espacio. En principio estas herramientas de análisis deberían influir en el desarrollo de estrategias y procesos de diseño, correspondientes con la visión ecológica del espacio promovida por el laboratorio.

Uno de los objetivos del modelo propuesto es precisamente indagar sobre la manera de instrumentalizar este tipo de análisis como herramienta de soporte en el diseño. Es en este sentido que se considera que el diseño paramétrico puede ser un instrumento interesante para el desarrollo, en base a las nociones y métodos elaborados por el laboratorio, del proyecto arquitectónico

9.3 El diseño paramétrico

El diseño, o modelado paramétrico, constituye actualmente una de las principales líneas de investigación en el campo de la arquitectura computacional. El cambio fundamental que han introducido las herramientas de diseño paramétrico, respecto a las herramientas clásicas de CAD, es la posibilidad de producir un modelo tridimensional sumamente flexible, gracias a su definición como un sistema variable de relaciones geométricas. Este ha sido el resultado del desarrollo de nuevos sistemas de notación, conocidos como programación visual o algoritmos generativos, en los que la descripción espacial del proyecto ha sido reemplazada por la manipulación de las variables y

marcadores semióticos que definen la forma diseñada. Así, un modelo paramétrico está constituido por un algoritmo, que define las características geométricas del objeto diseñado, y por su actualización en un modelo geométrico tridimensional.

En este sentido, estas herramientas introducen un cambio fundamental en la manera de diseñar la forma arquitectónica. Se trata del cambio de la notación geométrica explícita por la definición de relaciones geométricas instrumentales. De este modo en los modelos paramétricos se pasa del diseño de la forma del edificio, a la implementación de principios descritos a través de un programa. En un sistema de este tipo todos los objetos están vinculados a variables de control (parámetros) que determinan sus características. En consecuencia, los elementos particulares del diseño pueden concebirse como respuestas a variables específicas, expresiones matemáticas y códigos.

Los parámetros en un algoritmo pueden definir las características (forma, tamaño, orientación, posición) de los elementos geométricos (líneas, puntos, polígonos, volúmenes, superficies), o pueden ser variables que afectan las relaciones entre los elementos. Es decir, los parámetros, además de controlar las propiedades geométricas de los objetos, pueden ser empleados para determinar relaciones de dependencia entre estos. De esta manera, cuando un diseñador utiliza un sistema paramétrico lo que crea es una colección de objetos (un edificio, por ejemplo) sometidos a un sistema flexible de relaciones representadas por diagramas de programación visual. Como lo señalan los desarrolladores de Generative Components, el potencial del diseño paramétrico es que cuando las variables que determinan las relaciones entre la colección de objetos cambia, los miembros individuales deben responder de manera única a los cambios en su contexto específico (Menges, 2008, pp. 42-53).

Teniendo en cuenta lo anterior, el modelado paramétrico puede describirse como un método de diseño que permite desarrollar el proyecto de arquitectura en función de una serie de factores y variables; esto permite analizar, mediante la manipulación de tales variables, múltiples soluciones posibles para un escenario de diseño determinado. Como se verá a continuación, la posibilidad de representar un problema de diseño como un sistema variable de relaciones constituye un aspecto de las herramientas paramétricas que representa un enorme potencial para la exploración atmosférica del espacio.

9.4 Integración del modelado paramétrico y la concepción atmosférica del espacio

Antes se mencionó que la concepción atmosférica de los problemas de la arquitectura plantea una visión de los espacios habitables como el resultado de múltiples factores sociales, sensibles y

materiales. De acuerdo con los objetivos del laboratorio Cresson, se trata de una aproximación al estudio de los espacios arquitectónicos y urbanos, que debería influir en el desarrollo de estrategias de diseño correspondientes. Esta cuestión ha sido ampliamente debatida en este contexto, pues una pregunta que se plantea al respecto es como hacer operativo el análisis atmosférico a la hora de producir la forma arquitectónica.

Respecto a esta cuestión, dos aspectos propios de las herramientas paramétricas presentan un interesante potencial; se trata de la capacidad para introducir flujos de datos como variable de control de la forma, y la posibilidad de establecer una dinámica relacional entre la geometría y los diferentes parámetros analizados. De esta manera los elementos de un diseño pueden concebirse como respuestas a variables específicas.

Gracias a estos dos aspectos, inherentes a la lógica de las herramientas paramétricas, es posible plantear escenarios de diseño informados por el análisis de los diferentes factores “ambientales” que participan en la consolidación de una realidad arquitectónica o urbana. La capacidad de emplear los resultados del estudio de un fenómeno de “ambiente” como *input* para la producción de la forma arquitectónica aparece como una posible respuesta a la pregunta sobre cómo hacer operativo el tipo de análisis promovido por el Cresson.

Desde luego, lo anterior exige la cuantificación los resultados de un análisis, lo cual implica una limitación, pues no todos los fenómenos de ambiente pueden medirse cuantitativamente. Aunque algunos de los aspectos de los espacios construidos estudiados por el laboratorio pueden ser representados mediante formalizaciones matemáticas y muchos de los llamados “fenómenos de ambiente” son estudiados mediante técnicas que producen directamente datos numéricos (como es el caso de los análisis lumínicos, acústicos, térmicos, etc.), uno de los énfasis de las investigaciones del Cresson es el uso de modelos cualitativos de análisis.

Por lo tanto el modelo debe ser considerado como una herramienta que permite complementar la aproximación cualitativa del laboratorio, mediante el desarrollo de estrategias que permiten analizar, en un ambiente virtual de diseño, el impacto de una variedad de factores que influyen en la consolidación de una realidad arquitectónica. En base a esta idea se ha planteado una metodología de diseño que permite potenciar algunos aspectos del análisis atmosférico del espacio mediante el empleo de las herramientas de diseño paramétrico.

9.5 El modelo

En el contexto de mi vínculo con el laboratorio y con la ENSAG, el interés del modelo propuesto es doble. En primer lugar, el modelo pretende ser un aporte a la discusión sobre cómo hacer operativo el análisis atmosférico en los procesos de diseño. En segundo lugar, el modelo ha sido pensado como una herramienta que debería permitir a los estudiantes del máster “*Architecture, Ambiances et Cultures Numériques*” explorar escenarios de proyectación donde las herramientas de diseño computacional sirven de soporte para una práctica ecológica de la arquitectura.

En relación con la visión promovida por el Cresson, el modelo propuesto parte de la consideración que la adecuada resolución de un problema de diseño requiere la comprensión, y la correcta integración, de los diversos factores “ambientales” que componen el contexto de un proyecto. Para el desarrollo de esta aproximación al diseño, el modelo se inspira en un aspecto del programa elaborado por Alexander en su *Ensayo sobre la síntesis de la forma*. Se trata del empleo del diagrama como herramienta que permite hacer operativo el análisis de un problema de diseño en la producción de la forma diseñada.

Según Alexander un diagrama es “toda pauta que, al ser abstraída de una situación real, comunica la influencia física de determinadas exigencias o fuerzas.” (Alexander, 1986, p. 85) De acuerdo con la propuesta de Alexander, el diagrama no es solamente un medio ideal para producir diseños que se adaptan correctamente a un contexto, sino que el diagrama aparece como un instrumento que permite aclarar precisamente cual es el contexto en el que se inscribe un problema de diseño. Desde esta perspectiva el diagrama aparece como una herramienta analítica y como una herramienta de síntesis del análisis.

En correspondencia con lo anterior, el modelo desarrollado propone una práctica diagramática del proyecto, basada en la retroalimentación entre las fases de análisis y las fases de realización del diseño (Fig.1). A través de esta mecánica se aspira a definir “la pauta general de la forma” en base a la adecuación entre las condiciones analizadas y los requisitos del problema de diseño. Una aproximación de este tipo debería ayudar a aportar respuestas adecuadas al problema de cómo lograr un correcto balance entre el contexto, las necesidades de los usuarios y la configuración de los espacios construidos.⁷⁴

⁷⁴ En las páginas siguientes, en el cuadro lateral titulado “Ejemplo de aplicación del modelo”, se presenta junto a la descripción del modelo un ejemplo de un ejercicio de diseño que ilustra de qué modo el método propuesto permite instrumentalizar el análisis de un problema de diseño para responder a las necesidades identificadas en el desarrollo del proyecto.

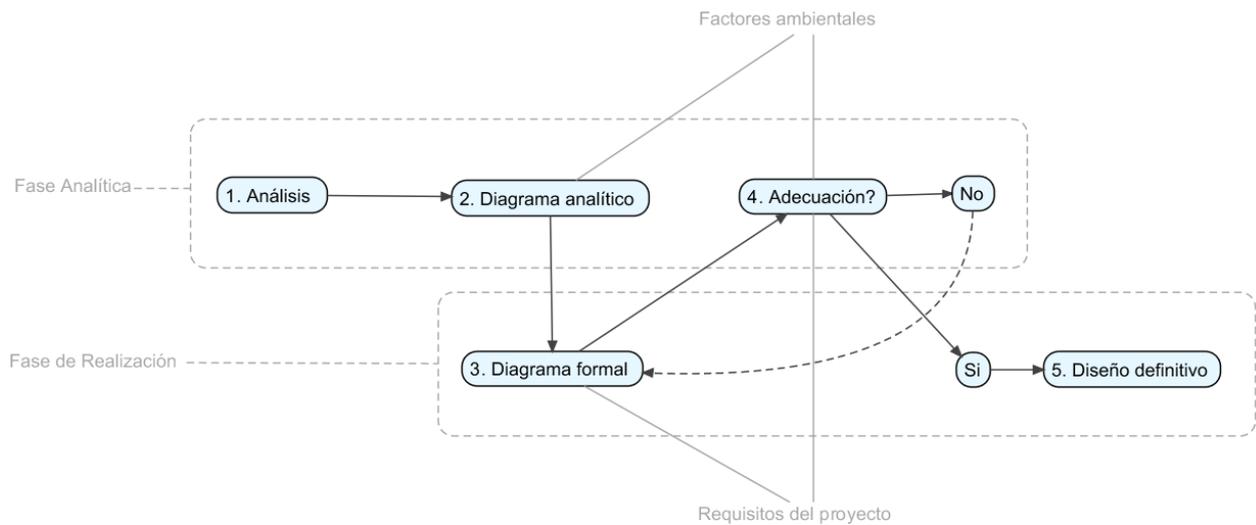


Figura 1. El modelo propuesto plantea cinco puntos correspondientes a una fase analítica y una fase de realización que se elaboran juntas y se retroalimentan, de este modo los factores analizados pueden informar el proceso de diseño desde los primeros esbozos hasta la realización de un diseño definitivo.

La primera etapa del método propuesto consiste en llevar a cabo el análisis de uno, o varios, de los factores ambientales (aspectos lumínicos, acústicos, térmicos, de uso, de percepción, etcétera) considerados determinantes para el desarrollo de un problema de diseño específico. A partir del análisis realizado se propone el desarrollo de diagramas analíticos; se trata de representaciones visuales de los datos recolectados en el análisis, de la expresión gráfica de un conjunto de propiedades de un problema particular. En este sentido, como lo plantea Alexander, los diagramas elaborados aparecen como una anotación para un problema específico estudiado.

Ejemplo de aplicación del modelo

A manera de ejemplo aquí se presenta un ejercicio de diseño que, en base los cinco puntos de la metodología planteada, ilustra la propuesta de integración de las herramientas paramétricas y la concepción atmosférica de los problemas de la arquitectura (para su desarrollo he empleado material gráfico y datos recolectados en colaboración con Ignacio Arciniegas, con quien desarrollé, en el mismo contexto, un proyecto dentro del marco del máster “Advanced Design and Digital Architecture” en la Escuela Superior de Diseño e Ingeniería de Barcelona).

El contexto del ejercicio desarrollado es el patio central del edificio de la Escuela Superior de Diseño e Ingeniería de Barcelona, ubicada en el centro de Barcelona, junto a La rambla y la plaza de Joaquim Xirau. (Figs.2-3)

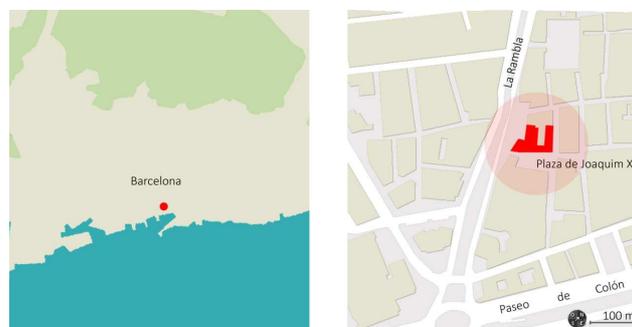


Figura 2: Escuela Superior de Diseño e Ingeniería de Barcelona.

Posteriormente se propone un trabajo sobre la forma arquitectónica, informado por los resultados del análisis. En esta fase, de realización, el diagrama es empleado como una representación que expresa las consecuencias físicas de la respuesta del diseño a los factores analizados en la fase analítica.

Una vez resuelta esta primera aproximación formal al problema de diseño, se pasa a la evaluación de la adecuación entre las descripciones formales propuestas y los requisitos del proyecto. Para esto se confronta la respuesta del objeto diseñado a las condiciones analizadas. Si se considera que existe un correcto ajuste entre los requisitos del proyecto y las hipótesis formales, estas pueden dar paso, en una última fase de realización, al desarrollo de un diseño definitivo.

Resumiendo, el modelo comprende cinco puntos que establecen un sistema de retroalimentación entre las fases de análisis y las fases de realización del proyecto: 1) Análisis de los fenómenos ambientales considerados relevantes para el problema de diseño. 2) Elaboración de diagramas analíticos que corresponden a la representación visual de un conjunto de propiedades de los fenómenos estudiados. 3) Producción de diagramas formales mediante los cuales se especifica la pauta general de la forma en función de los resultados del análisis. 4) Análisis de la correcta adecuación entre las condiciones analizadas y las hipótesis de diseño elaboradas en el punto tres. 5) Diseño definitivo.

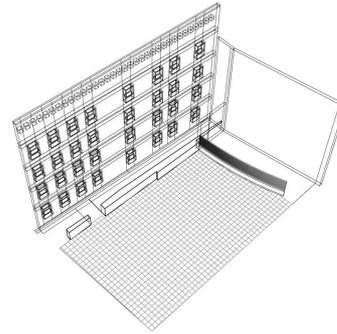


Figura 3: Vista axonométrica del lugar a intervenir.

El ejercicio consiste en proyectar una intervención arquitectónica en el espacio mencionado, que cumpla con el requisito de cubrir parcialmente el patio de la escuela, que por su localización recibe mucha radiación solar directa durante el verano y poca durante los demás periodos del año.

PASO 1. *El primer paso consiste en la identificación de los factores “ambientales” considerados de mayor relevancia para el problema en cuestión. Teniendo en cuenta el requisito de cubrir parte del espacio, y la vocación del lugar como sitio de encuentro y esparcimiento, se propuso un análisis comparativo de los patrones de ocupación del espacio respecto a su asoleamiento.*

El análisis de ocupación se llevó a cabo mediante la observación in situ y el registro fotográfico de la actividad del espacio durante varios días, y durante las horas de asoleamiento (Fig.4). El análisis de asoleamiento se realizó en Ecotect – para el periodo comprendido entre el 21 de Marzo y el 21 de Junio– y se empleó el plug-in Geco para introducir los resultados del análisis solar en el algoritmo de Grasshopper.

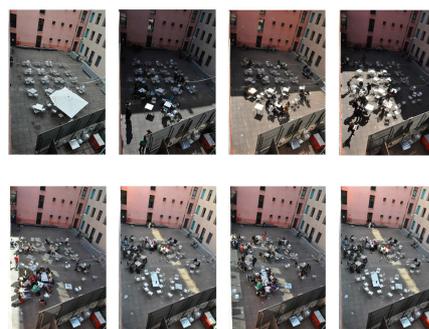


Figura 4: Registro fotográfico de la actividad del lugar en diferentes momentos del día.

PASO 2. *Una vez recolectada la información necesaria, se dio paso al desarrollo de diagramas analíticos. Con este fin se mapeó la información recolectada en una matriz bidimensional que representa el espacio analizado. En cuanto al análisis solar, al valor global de asoleamiento de cada célula de la matriz se asignó un código de color obtenido del análisis de Ecotect (Fig.5).*

La pregunta que surge en este punto es en qué sentido las herramientas de diseño paramétrico pueden jugar un papel relevante para este tipo de aproximación al diseño. Como se señaló antes, dos aspectos de las herramientas paramétricas (la posibilidad de introducir datos en el espacio de diseño y la lógica relacional entre los elementos de un diseño que estas permiten implementar), resultan de interés tanto para la representación del análisis atmosférico, como para su empleo en la síntesis de la forma que debe desprenderse del análisis. Es en este sentido que se considera que las herramientas de diseño paramétrico pueden ser un interesante aporte para la instrumentalización del análisis atmosférico de los problemas de diseño.

Como herramienta de análisis, gracias a su capacidad para manipular flujos de información, las herramientas paramétricas pueden ser empleadas como medio de representación de los datos analizados. La visualización de la información recolectada a través del análisis de un fenómeno de ambiente puede ser una potente herramienta para comprender las condiciones que determinan un problema de diseño.

Por otra parte, en términos de la producción de la forma, la lógica relacional propia de las herramientas paramétricas, que permite concebir los elementos de un diseño como respuesta a variables específicas, constituye un medio eficaz para explorar la adecuación entre la

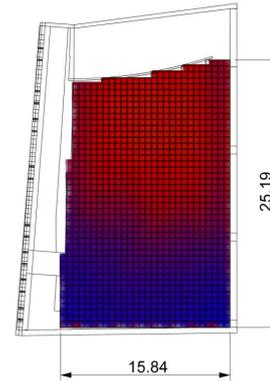
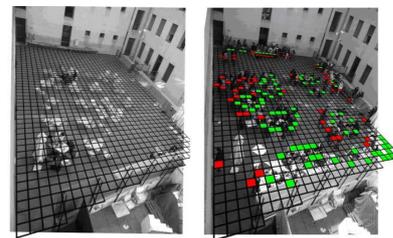


Figura 5: Mapeo de los datos globales de asoleamiento directo del espacio, durante los periodos analizados.

En el caso del análisis de ocupación, se creó una colección de imágenes, cada una de las cuales representa la ocupación del lugar en un momento determinado. De este modo se asignó un valor global de ocupación a cada punto en el espacio, con el fin de determinar cuáles son las zonas de mayor actividad. (Fig.6). Para esto último se empleó la herramienta de muestreo de imágenes de Grasshopper que permite gráficamente el valor global de ocupación de cada punto en el espacio (Fig.7) Una vez diagramados los datos del análisis de ocupación se compararon los resultados con los mapas de asoleamiento obtenidos del análisis en Ecotect. (Fig 8).



0	0	1	+	0	0	1	=	0	0	2
0	0	0		0	0	0		0	0	0
0	0	0		0	1	0		0	1	0

Figura 6: Mediante el mapeo de los datos recolectados en una representación bidimensional del espacio, es posible identificar las zonas de mayor ocupación durante el periodo analizado. Para esto, por cada periodo de tiempo registrado, a cada célula en la matriz se le atribuye un valor igual a 1 cuando la célula está ocupada, o igual a 0, cuando la célula está desocupada. Posteriormente se suman todos los valores obtenidos para determinar el índice total de ocupación de cada célula.

PASO 3. La comparación del diagrama de ocupación con el análisis de asoleamiento permite confirmar que, durante el periodo estudiado, las zonas de mayor ocupación coinciden con las zonas que reciben mayor radiación solar directa. A partir de esta observación, y empleando los datos del análisis, se generó un diagrama que representa las zonas del patio que deberían permanecer descubiertas para recibir un máximo de radiación solar durante los periodos no estivales (Fig.9).

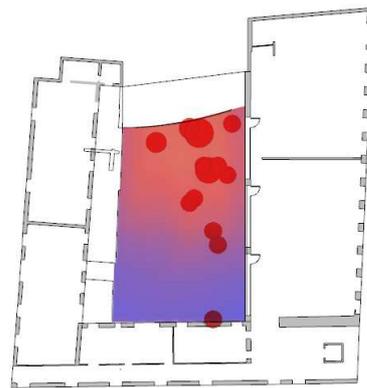
forma concebida y las conclusiones que se desprenden del análisis.

Además, la posibilidad de manejar parámetros variables permite analizar diferentes escenarios de diseño, de modo que diversas soluciones al mismo problema pueden ser estudiadas. Esta flexibilidad también permite establecer una lógica de retroalimentación entre el diseño y el análisis; de este modo la adecuación de la respuesta a un problema dado puede ser examinada, y los resultados del análisis pueden ser reintroducidos en el proceso para afinar el diseño.

Este diagrama sintético se desarrolló como un instrumento que permite generar una forma posible en función de la adecuación entre los requisitos del proyecto y los resultados del análisis.



Figuras 7. Representación de los datos del análisis de ocupación resultante del proceso descrito en la figura 5. La ocupación de cada punto en el espacio es representado por un círculo cuyo tamaño y color varía en función del valor resultante del análisis.



Figuras 8. Superposición de la representación de los mayores valores de ocupación del espacio, sobre la representación gráfica de los valores de asoleamiento global.

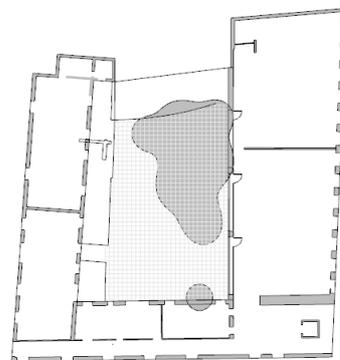


Figura 9. Diagrama sintético que representa los resultados del análisis en función de los requisitos del proyecto.

PASO 4. En correspondencia con el modelo propuesto, una vez esbozada la forma arquitectónica, se introdujo un nuevo ciclo de retroalimentación entre la fase analítica y la fase de síntesis. En este caso se trata del análisis de la mejor adecuación entre la forma diseñada y la necesidad de generar la mayor área descubierta en las zonas que reciben radiación solar directa durante el periodo comprendido entre el 21 de septiembre y el 21 de junio. Con este fin se analizó el asoleamiento directo para este periodo del espacio diseñado, en base a una serie de variaciones paramétricas de la forma, hasta encontrar un compromiso ideal entre área cubierta y área descubierta (Fig.11). Una vez definida la correcta adecuación entre estos dos parámetros se pasó al desarrollo de un diseño definitivo.

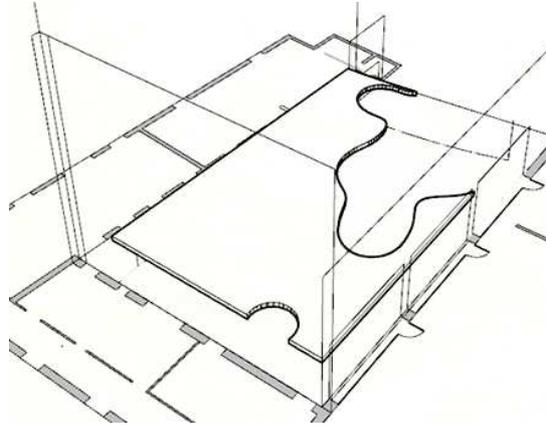


Figura 10. Actualización en un elemento arquitectónico del diagrama sintético.

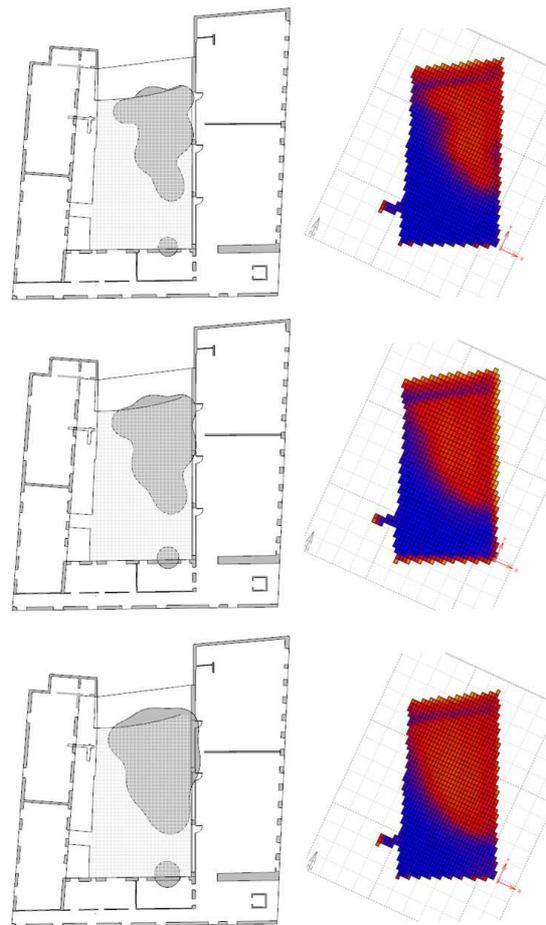


Figura 11. Análisis de diferentes posibles configuraciones del espacio en función del análisis de asoleamiento.

PASO 5. Definida la forma de la cubierta, el diseño del espacio se completó mediante el desarrollo de una escalinata que funciona a la vez como elemento de control solar, como límite permeable entre la zona cubierta y la zona descubierta del patio, y como gradería que sirve simultáneamente como mobiliario y como elemento de acceso a la parte superior de la cubierta. Para el diseño de la cubierta se planteó crear una serie de aberturas que permiten un paso controlado de la luz solar (Fig.11).

Estos elementos también se definieron paramétricamente, de modo que en la fase de diseño definitivo también fue posible analizar diferentes configuraciones espaciales, en base a las variables introducidas en el algoritmo generativo. Por ejemplo, la forma de la escalinata depende de las variables que definen el diagrama sintético desarrollado en el paso 3, de modo que cualquier variación introducida en este punto repercute en el resultado final.

Del mismo modo, las aberturas de la cubierta fueron definidas en función de los datos obtenidos del análisis solar llevado a cabo en el paso 4, de manera que el diámetro de los orificios varía en función de la cantidad de luz solar directa que recibe la cubierta en cada punto del espacio analizado (a los valores altos de asoleamiento se asignan diámetros pequeños y viceversa).

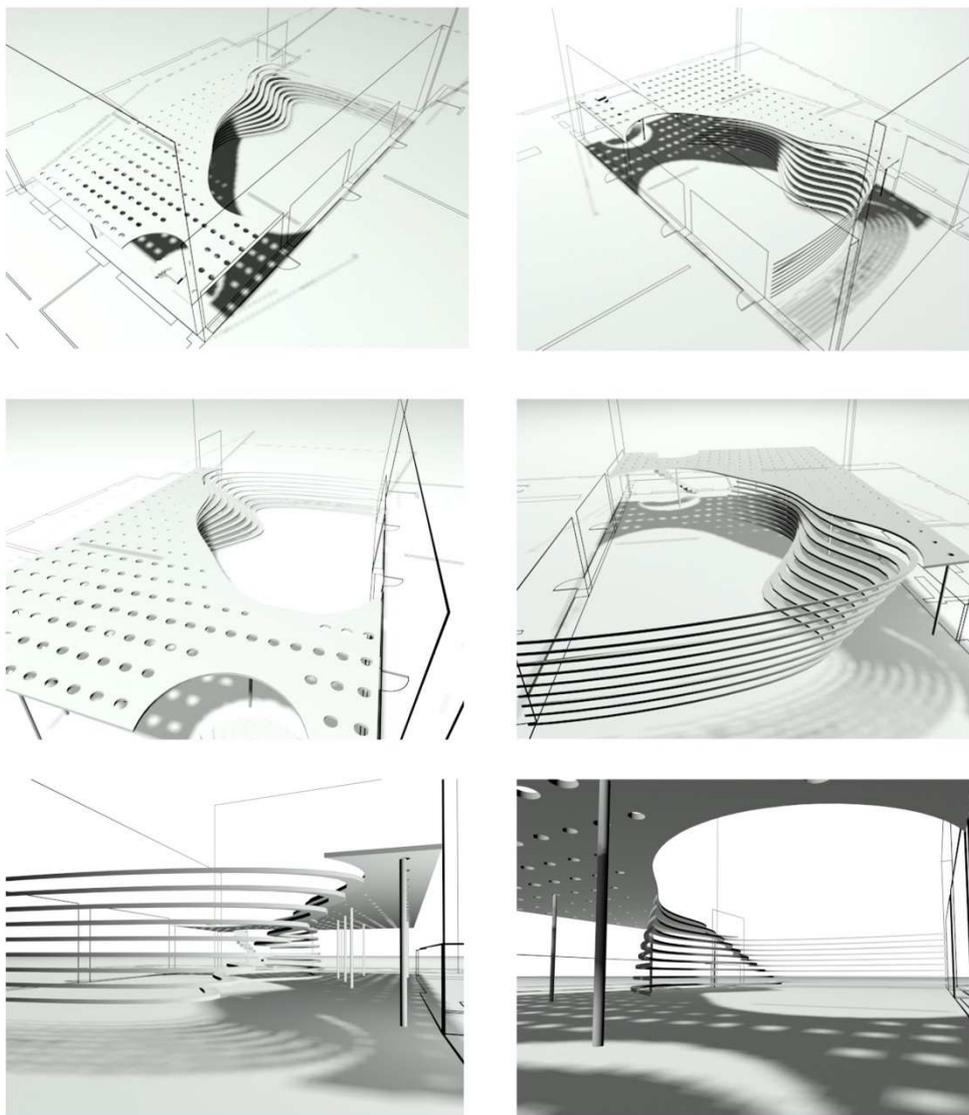


Figura 12. Las imágenes corresponden a uno de los múltiples posibles resultados del proceso.

9.6 El modelo aplicado

El ejemplo presentado arriba ilustra cómo la definición de un escenario de diseño en base al análisis de sus aspectos atmosféricos (en este caso la incidencia solar y el comportamiento de los usuarios) puede instrumentalizarse para servir como herramienta de apoyo para la proyectación de la arquitectura. En este sentido la capacidad de las herramientas paramétricas de emplear flujos de datos como *input* para el diseño, al igual que la posibilidad de dirigir el proceso de diseño mediante una definición algorítmica, aparecen como dos potentes instrumentos para complementar la aproximación atmosférica promovida por el laboratorio Cresson.

El ejercicio presentado es un ejemplo de cómo el modelo elaborado permite emplear los resultados del análisis atmosférico como elemento operativo en el diseño, de cómo se puede establecer una relación causal entre el análisis de un problema de diseño y el desarrollo del proyecto (Fig.13). Esta dinámica permite concebir el proceso de proyectación como un sistema de retroalimentación entre las fases analíticas y las fases sintéticas del proceso. De esta manera es posible evaluar permanentemente los resultados obtenidos en cada etapa en función de los parámetros analizados, y emplear los resultados del análisis como medida para valorar la adecuación entre los requisitos del proyecto y las soluciones planteadas desde los primeros esbozos hasta el desarrollo de un diseño definitivo.

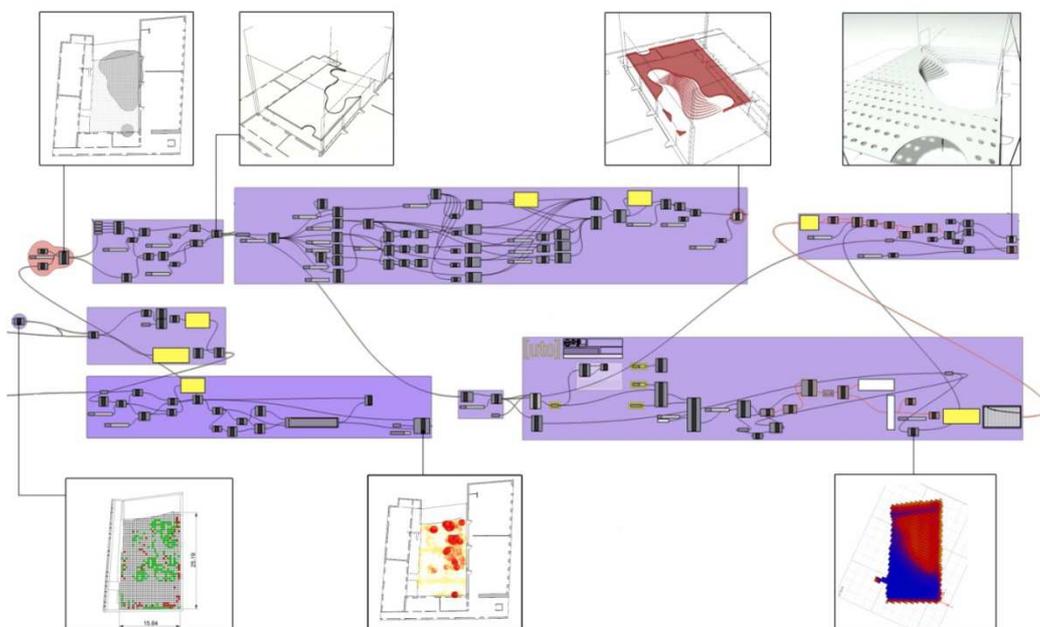


Figura 13. La imagen muestra cómo todas las etapas del diseño, incluyendo el desarrollo de los diagramas analíticos y sintéticos, han sido desarrolladas dentro de un único algoritmo en Grasshopper. Este flujo de trabajo permite analizar diversas soluciones al problema de diseño en cualquier etapa del proceso, introducir nuevos datos y variables, y emplear los resultados de cada etapa como parámetro para definir las etapas siguientes.

9.7 El modelo en el estudio de diseño

Durante el primer semestre del periodo académico 2013-2014, el modelo descrito arriba se propuso como base para el desarrollo de un ejercicio de diseño con un grupo de estudiantes de primer año (M1) del máster “*Architecture, Ambiances et Cultures Numériques*” (AACN). Para esto se planteó a los estudiantes el desarrollo de un proyecto en el que, empleando diferentes herramientas de análisis y de diseño paramétrico, se debían identificar y analizar los aspectos atmosféricos relevantes de un sitio, representar gráficamente los resultados del análisis, y solucionar un proyecto a partir del desarrollo de diagramas analíticos y sintéticos del escenario de diseño planteado.

Desafortunadamente este ejercicio no se pudo completar, fundamentalmente porque el proceso académico planteado por el máster apunta a producir, en un periodo de tiempo muy corto, proyectos formalmente complejos y prototipos de los mismos fabricados con herramientas de control numérico. Este objetivo obliga a privilegiar un proceso pedagógico en el que se les proponen a los estudiantes “recetas”, tipologías basadas en el uso de algoritmos pre-diseñados, que garantizan alcanzar los resultados formales esperados, por encima del aprendizaje profundo de las técnicas empleadas. Esta dinámica resultó ser incongruente con el modelo propuesto, que exige, además de un tiempo de formación adecuado para alcanzar un conocimiento suficiente de las herramientas empleadas, concebir el diseño como un proceso de análisis que también requiere tiempos más largos.

Las razones del fracaso de esta primera tentativa de poner a prueba el modelo en el estudio de diseño evidencian algunos aspectos de la organización del máster que vale la pena discutir, pues ponen de relieve algunas cuestiones discutidas en la disertación.

La primera es que la dinámica promovida por el máster recuerda una tendencia, identificada en diversas prácticas de diseño digital (reseñada en el capítulo 7), hacia la autonomización de los recursos empleados (en este caso técnicos) de los demás aspectos que intervienen en la producción de la arquitectura.

Lo anterior se refleja en una clara desconexión entre la práctica del proyecto y los problemas concretos de la arquitectura, que es producto de la misma actitud determinista, criticada a lo largo la disertación. La exploración en el máster de las técnicas de diseño y de fabricación digital como el factor primordial de los procesos dirigidos digitalmente conduce a la definición de escenarios de diseño donde tanto los proyectos desarrollados, como los medios tecnológicos empleados,

mantienen un vínculo bastante impreciso con la cuestión de diseñar espacios significativos capaces de responder a necesidades concretas.

Otro aspecto que reveló el desarrollo del ejercicio fue la gran dificultad que encontraron los estudiantes para formular un problema de diseño en base a una lógica computacional. Este es igualmente el resultado de un proyecto académico que privilegia los resultados sobre los procesos de aprendizaje. Además de poner de relieve la débil formación técnica propuesta a los estudiantes, esta dinámica basada en el uso de recetas evidencia un claro desinterés por el fomento de una actitud reflexiva respecto a los modos computacionales de producción de la arquitectura.

Estas dos falencias, observadas en diferentes espacios de formación,⁷⁵ evidencian la necesidad, señalada en la disertación, de promover, especialmente en los ámbitos académicos, una cultura crítica de la producción computacional de la arquitectura. Y como se ha insistido aquí, esto exige no sólo un conocimiento profundo de los aspectos técnicos propios de la pragmática computacional del diseño, sino también de la comprensión del desarrollo y evolución de las ideas, de las condiciones intelectuales, que han guiado el desarrollo de esta perspectiva en la profesión.

9.8 Conclusiones preliminares sobre el potencial del modelo para la pedagogía de los ambientes

A pesar de las dificultades encontradas, el intercambio posterior con los estudiantes permite pensar que, en condiciones apropiadas, el modelo propuesto puede ser una herramienta de interés para compaginar la pedagogía de los “ambientes” y la producción digital de la arquitectura. Con el fin de evaluar lo anterior, se les pidió a los estudiantes que respondieran a un cuestionario en el que se les invitó a comentar las dificultades encontradas durante el desarrollo del ejercicio, al igual que su opinión respecto a la utilidad del modelo propuesto en lo referente al aprendizaje de las herramientas de diseño y análisis empleadas.⁷⁶

⁷⁵ Una dinámica similar pude observarla en la organización del máster “*Advanced Design and Digital Architecture*”, en el que participé como estudiante en 2013.

⁷⁶ Después de que el ejercicio se abortó se les pidió a los estudiantes que respondieran a las siguientes preguntas :

1. *Quelles difficultés avez vous trouvé pendant la réalisation de l'exercice?*

Quant à la méthodologie proposée :

2. *Pensez vous qu'elle est un bon moyen pour l'apprentissage des outils de dessin paramétrique ?*
3. *En quoi pensez vous que la méthodologie proposée permet de mieux comprendre le potentiel du dessin paramétrique ?*
4. *Pensez vous que cette méthodologie est un outil efficace pour instrumentaliser l'analyse des ambiances ?*

Respecto a las dificultades encontradas, la mayoría de los estudiantes respondieron que el conocimiento insuficiente de las herramientas, o el escaso tiempo para familiarizarse con ellas, fue el principal problema que enfrentaron. Algunos de los estudiantes asociaron lo anterior, de manera más concreta, con la dificultad para representar gráficamente los resultados de los análisis desarrollados para poder emplearlos posteriormente como elementos de proyectación.

Sin embargo, a pesar de los problemas señalados, todos los estudiantes entrevistados coincidieron en reconocer en el modelo propuesto un instrumento útil para el aprendizaje de las herramientas de diseño paramétrico y un ejemplo de su potencial para la concepción atmosférica del espacio.

Respecto a lo primero los estudiantes afirmaron globalmente que el desarrollo del ejercicio les resultó de utilidad, en la medida que su desarrollo puso en evidencia el tipo de variables que pueden ser analizadas y empleadas en un sistema paramétrico. En sus respuestas lo anterior aparece unido a la identificación del potencial del diseño paramétrico como un medio para introducir en el desarrollo del proyecto diferentes aspectos “encontrados en el sitio” relacionados con la iluminación, el ambiente sonoro, la circulación, etcétera.

Al respecto, una de las estudiantes expresó que el empleo de las herramientas paramétricas “facilitó la conversión de los datos recolectados en el sitio en datos numéricos y así poder observar las variaciones (de los fenómenos analizados) en el tiempo y en el espacio.” En el mismo sentido, otro estudiante señaló que mediante el desarrollo del ejercicio pudo concebir la relación entre los aspectos particulares del análisis y su impacto en la configuración general del proyecto, lo anterior gracias a la posibilidad de “ver las repercusiones de lo particular sobre lo general al cambiar uno o varios parámetros.”

Al comentar el potencial de las herramientas paramétricas para la instrumentalización del análisis atmosférico, los estudiantes también coincidieron al manifestar que el modelo presentado les permitió establecer un vínculo claro entre los fenómenos “ambientales” analizados, los datos recolectados y la producción del objeto arquitectónico.

El intercambio con los estudiantes permite concluir que, aunque la primera tentativa de su implementación en el estudio de diseño evidenció serias dificultades relacionadas con la organización del máster, la propuesta para la instrumentalización paramétrica del análisis atmosférico del espacio, ejemplificada en el modelo presentado arriba, constituye una herramienta

interesante para explorar la integración en la pedagogía de los ambientes arquitectónicos y urbanos de las herramientas de diseño computacional.

Dentro del marco de la indagación propuesto por el máster "*Architecture, Ambiances et Cultures Numériques*", que aspira a explorar la concepción atmosférica de la arquitectura apoyada en el empleo de nuevas herramientas de diseño y fabricación digital, esta propuesta constituye una contribución a la consolidación de una nueva línea de investigación en el laboratorio Cresson. Se trata de una exploración que invita a reflexionar sobre el potencial de los medios digitales de producción de la arquitectura, en un contexto en el que, al igual que en las exploraciones cibernéticas del diseño, se ha pensado la arquitectura como ecología, como una dinámica de interacción entre múltiples fuerzas y factores de la cual surge una realidad socio-espacial compleja.

10. Bibliografía

- Alexander, C., 1986. *Ensayo sobre la Síntesis de la Forma*. Buenos Aires: Ediciones Infinito.
- Alhadeff-Jones, M., 2008. Three Generations of Complexity Theories: Nuances and Ambiguities. *Educational Philosophy and Theory*, 40(1), pp. 66-82.
- Aranda, B. & Lasch, C., 2006. *Pamphlet Architecture 27: Tooling*. New York: Princeton Architectural Press.
- Ashby, W. R., 1962. *Principles of the Self-organizing System*. En *Principles of the self-organizing system: Transactions of the University of Illinois Symposium*. London, Pergamon Press, pp. 102-126.
- Augenbroe, G., 2005. A Framework for Rational Building Performance Dialogues. En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, eds. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spon Press, pp. 97-110.
- Back, T., Hammel, U. & Schwefel, H.-P., 1997. Evolutionary Computation: Comments on the History and Current State. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, 1(1).
- Ball, P., 2012. Pattern Formation in Nature: Physical Constraints and Self-Organising Characteristics. *Architectural Design*, 82(2), pp. 22-27.
- Balmond, C., 2007. *Element*. Munich, Berlin, London, New York: Prestel.
- Barthes, R. & Duist, L., 1975. "An Introduction to the Structural Analysis of Narrative". *New Literary History*, 6(2), pp. 237-272.
- Barthes, R. & Duist, L., 1975. An Introduction to the Structural Analysis of Narrative. *New Literary History*, 6(2), pp. 237-272.
- Bateson, G., 1990. *Vers une écologie de l'esprit 1*. Paris: Editions du Seuil.
- Baudrillard, J., 2003. Requiem for the Media. En: N. Wardrip-Fruin & N. Montfort, eds. *The New Media Reader*. Cambridge - Londres: The MIT Press, pp. 278-288.
- Bentley, P., 1999. An Introduction to Evolutionary Design by Computers. En: P. Bentley, ed. *Evolutionary Design by Computers*. San Francisco: Morgan Kaufmann, pp. 1-73.
- Bertalanffy, L. v., 1993. *Théorie générale des systèmes*. Paris: Dunod.
- Berto, F. & Tagliabue, J., 2012. *The Stanford Encyclopedia of Philosophie*. [En línea]
Available at: <http://plato.stanford.edu/archives/sum2012/entries/cellular-automata/>
[Último acceso: 1 Junio 2013].
- Blassel, J. F., 2005. Engineering a Performative environment . . . En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, eds. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spon Press, pp. 123-134.
- Bowker, G., 1993. How to Be Universal: Some Cybernetic Strategies, 1943-70. *Social Studies of Science*, 23(1).
- Braham, W., 2013. *williambraham.net*. [En línea]
Available at: <http://williambraham.net>
[Último acceso: 1 Enero 2013].
- Braham, W. W., 2005. Biothechniques: Remarks on the Intensity of Conditioning. En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, eds. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spon Press, pp. 55-70.
- Breton, P., 1990. *Une Histoire de l'informatique*. Paris: La decouverte.
- Breton, P., 1995. *L'utopie de la communication : le mythe du village planétaire*. Paris: La decouverte.

- Burke, A. & Tierney, T., 2007. *Network Practices. New Strategies in Architecture and Design*. New York: Princeton Architectural Press.
- Burry, M. & Burry, J., 2010. *The New mathematics of architecture..* Londres: Thames & Hudson.
- Cardoso, D., 2012. *Builders of the Vision. Tesis doctoral*. Cambridge, Mass: Massachusetts Institute of Technology.
- Chu, K., 2006. Metaphysics of genetic architecture and computation. *Architectural Design*, 76(4), pp. 38-45.
- Chu, K., 2006. Metaphysics of genetic architecture and computation (pages 38–45). *Architectural Design*, 76(4), pp. 38-45.
- Coates, P., Healy, N., Lamb, C. & Voon, W., 1996. *The use of cellular automata to explore bottom up architectonic rules. Proceedings of the "Eurographics UK Chapter 14th annual conference"*. Londres, Eurographics Association UK.
- Coyne, R., 2001. *Technoromanticism: Digital Narrative, Holism, and the Romance of the Real*. Cambridge, Mass: The MIT Press.
- De Landa, M., 2000. *A thousand Years of Nonlinear History*. New York: Swerve Editions.
- De Landa, M., 2004. Material Complexity. En: N. Leach, D. Turnbull & C. Williams, edits. *Digital Tectonics*. Chichester: John Wiley & Sons, pp. 14-21.
- De Landa, M., 2011. *A Thousand Years of Nonlinear History*. New York: Zone Books.
- Derix, C., 2008. Genetically Modified Spaces. En: *Space Craft: Developments in Architectural Computing*. London: RIBA Publishing, pp. 44-53.
- Diller, E. & Scofidio, R., 1997. Corps, l'espace prescrit. *Techniques et Architecture*, Volumen 429.
- Dosse, F., 1995. *Histoire du structuralisme*. Paris: La Découverte.
- Edwards, P. N., 1997. *The closed world: Computers and the politics of discourse in Cold War America*. s.l.:MIT Press.
- Estévez, A. T. (., 2005. *Arquitecturas genéticas II: medios digitales y formas orgánicas..* Barcelona: ESARQ (UIC) / SITES Books.
- Estévez, A. T. (., 2009. *Arquitecturas genéticas III: nuevas técnicas biológicas y digitales*. Barcelona: ESARQ (UIC) / SITES Books.
- Eveno, E., 1998. *Utopies Urbaines*. Toulouse: Presses universitaires du miral.
- Flores, L., 2011. La autopoiesis de la arquitectura. Patrik Schumacher en conversación con Loreto Flores. *Revista de arquitectura*, Issue 23.
- Franzosi, R., 1998. Narrative Analysis – Or Why (And How) Sociologists Should be Interested in Narrative. *Annual Review of Sociology*, Volumen 24, pp. 517-554.
- Frazer, J., 1995. *An Evolutionary Architecture*. London: Architectural Association.
- Gallison, P., 1994. The Ontology of the Enemy: Norbert Wiener and the Cybernetic Vision. *Critical Inquiry*, 21(1), pp. 228-266.
- Gallison, P., 2003. War Against the Center. En: A. Picon & A. Ponte, edits. *Architecture and the sciences: Exchanging Metaphors*. Princeton, New Jersey: Princeton Architectural Press, pp. 196-227.
- Gao, Y., 2012. Architectural homeostasis through reciprocal dualism. En: *Hour 25 HKU Architecture Papers 2011*. Hong Kong: HKU Press.

- Garcia, M., 2010. *The Diagrams of Architecture*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Genosko, G., 1999. *Mcluhan and Baudrillard. The Masters of Implosion*. New York: Routledge.
- Geoghegan, B. D., 2008. The Historiographic Conceptualization of Information: A Critical Survey. *IEEE Annals of the History of Computing*, pp. 66-81.
- Grobman, Y. J., 2012. The various dimensions of the concept of performance in architecture . En: E. Neuman & Y. J. Grobman, edits. *Performatism. Form and Performance in Digital Architecture*. London - New York: Routledge, pp. 9-13.
- Habermas, J., 2010. *Ciencia y técnica como ideología*. Madrid: Tecnos.
- Hall, S., 1986. Cultural studies: Two Paradigms. En: R. , P. R. Collins, y otros edits. *Media Culture and Society. A Critical Reader*. Londres: Sage Publications, pp. 33-48.
- Haraway, D., 2003. A Cyborg Manifesto. Science, Technology, and Socialist Feminism in the Late Twentieth Century. En: N. Wardrip-Fruin & N. Montfort, edits. *The New Media Reader*. Cambridge - Londres: The MIT Press, pp. 515-541.
- Hayles, N. K., 1999. *How we became Posthuman: Virtual Bodies in Cybernetics, Literature and Informatics*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Heims, S. J., 1986. *John Von Neumann y Norbert Wiener*. Barcelona: Salvat Editores.
- Hensel, M., 2012. Performance-oriented design from a material perspective: domains of agency and the spatial and material organization complex. En: Y. J. Grobman & E. Neuman, edits. *Performatism: Form and Performance in Digital Architecture*. New York: Routledge, pp. 43-48.
- Hensel, M. & Menges, 2008a. Versatility and Vicissitude . An introduction to Performance in Morpho-Ecological Design. *Architectural Design*, 78(2), pp. 6-11.
- Hensel, M. & Menges, A., 2006. Differentiation and Performance: Multi Performance Architectures and Modulated Environments. *Architectural Design*, 76(2), pp. 60-69.
- Hensel, M. & Menges, A., 2006. Differentiation and performance: multi-performance architectures and modulated environments. *Architectural Design*, 76(2), pp. 60-69.
- Hensel, M. & Menges, A., 2006. Material and digital design synthesis (pages 88–95). *Architectural Design*, 76(2), pp. 88-95.
- Hensel, M. & Menges, A., 2008. Designing Morpho-Ecologies: Versatility and Vicissitude of Heterogeneous Space. *Architectural Design*, 78 (2), pp. 102-11.
- Hensel, M. & Menges, A., 2008. Versatility and Vicissitude: An Introduction to Performance in Morpho-Ecological Design (pages 6–11). *Architectural Design*, 78(2), pp. 6-11.
- Hensel, M., Menges, A. & Weinstock, M., 2006. Towards self-organisational and multiple-performance capacity in architecture. *Architectural Design*, 76(2), pp. 5-11.
- Herzog, T., 2005. Performance Form. En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, edits. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spon Press, pp. 71-85.
- Heylighen, F., 1988. *Building a Science of Complexity. Artículo presentado en la 1988 Annual Conference of the Cybernetics Society*. Londres, Cybernetics Society, King's College.
- Hight, C., 2008. *Architectural Principles in the Age of Cybernetics..* New York: Routledge .
- Hight, C., 2012. High performance anxiety. En: E. Neuman & Y. J. Grobman, edits. *Performatism. Form and Performance in Digital Architecture*. London - New York: Routledge, pp. 37-42.

- Hogeweg, P., 2011. The Roots of Bioinformatics in Theoretical Biology. *PLoS Computational Biology*, 7(3), pp. 1-5.
- Holland, J., 1992. *Adaptation in natural and artificial systems : an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. Cambridge: The MIT Press.
- Holland, J., 2004. *El Orden oculto : de cómo la adaptación crea la complejidad*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Horn, B., 2008. Meaningless Form / Formless Meaning: Architecture, Language and the Computational Turn. pp. 515-519.
- Johnson, S., 2001. *Emergence. The Connected Lives of Ants, Brains, Cities and Software*. New York: Scribner.
- Kalay, Y. E., 1999. Performance-based design. *Automation in Construction*, Volumen 8, pp. 395-409.
- Kay, L. E., 2000. *Who Wrote the Book of Life? A History of the Genetic Code*. Stanford, California: Stanford University Press.
- Keller, E. F., 1992. *Secrets of life, secrets of death: Essays on language, gender, and science*. s.l.:Psychology Press.
- Keller, S., 2005. *Systems Aesthetics: Architectural Theory at the University of Cambridge, 1960-1975. Tesis doctoral*. Cambridge, Mass: Harvard University.
- Keller, S., 2006. Fenland Tech: Architectural Science in Postwar Cambridge. *Grey Room*, Issue 23, pp. 40-65.
- Kelly, K., 1994. *Out of Control: The New Biology of Machines, Social Systems and the Economic World*. s.l.:Addison-Wesley.
- Kloft, H., 2005. Non-standard Structural Design for Non-standard Architecture. En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, edits. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York.: Spon Press.
- Kolarevic, B., 2003. *Architecture in the Digital Age. Design and manufacturing*. New York - Londres: Spon Press.
- Kolarevic, B., 2005a. Towards the Performative in Architecture. En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, edits. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spon Press, pp. 203-214.
- Kolarevic, B., 2012. *Architecture of Change: Building Dynamics and Kinetic Matter*. Grenoble, Les Grands Ateliers.
- Kolarevic, B. A. M. M. (., 2005. Computing the Performative in Architecture. En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, edits. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spon Press, pp. 193-202.
- Kwinter, S., 2001. *Architectures of Time: Towards a Theory of the Event in Modernist Culture*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Laboratorio Cresson, 2012. *Laboratorio Cresson*. [En línea]
Available at: <http://www.cresson.archi.fr>
[Último acceso: 01 06 2012].
- Lafontaine, C., 2004. *L'empire cybernétique. Des machines à penser à la pensée machine*. Paris: Editions du Seuil.
- Lalvani, H., 2005. Genomic Architecture. *Journal of Architecture and Computation*.
- Laszlo, E., 1981. *Le systémisme. Vision nouvelle du monde*. Paris ed. s.l.:Pergamon Press.
- Latour, B., 1992. *Aramis ou l'amour des techniques*. Paris: La Decouverte.
- Latour, B., 1992. *Nous n'avons jamais été modernes : Essai d'anthropologie symétrique*. Paris: La decouverte.

- Lavin, S., 2012. Performing the contemporary or: towards and even newer architecture. En: E. Neuman & Y. J. Grobman, eds. *Performatism. Form and Performance in Digital Architecture*. London - New York: Rotledge, pp. 21-26.
- Le Moigne, J. L., 1996. Complexité. En: *Dictionnaire d'Histoire et Philosophie des Sciences*. Paris: Presses Universitaires de France, pp. 205-215.
- Leach, N. (.), 2002. *Designing for a Digital World*. Chichester : Wiley-Academy.
- Leach, N. ". e. .. V. X. T. M. E. -. 2., 2009. Digital Morphogenesis. *Architectural Design*, 79(1).
- Leach, N., 2001. *La An-estética de la arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Leach, N., 2004. Swarm Tectonics. En: N. Leach, D. Turnbull & C. Williams, eds. *Digital Tectonics*. Chichester: John Wiley & Sons, pp. 71-77.
- Leatherbarrow, D., 2005. Architecture's Unscripted Performance. En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, eds. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spoon Press, pp. 5-20.
- Lenoir, T. & Alt, C., 2003. Flow, Process, Fold. En: A. Picon & A. Ponte, eds. *Architecture and the Sciences. Exchanging Metaphors*. Princeton, New Jersey: Princeton Architectural Press, pp. 314-353.
- Lindenmayer, A., 1975. Developmental Algorithms for Multicellular Organisms: A Survey of L-Systems. *Journal of Theoretical Biology*, Volumen 54, pp. 3-22.
- Littlefield, D., 2008. *Space Craft: Developments in Architectural Computing*. Londres: RIBA Publishing.
- Lobell, J., 2006. The Milgo experiment: an interview with Haresh Lalvani. *Architectural Design*, 76(4), pp. 52-61.
- Lobell, J., 2006. The Milgo experiment: an interview with Haresh Lalvani. *Architectural Design*, 76(4), p. 52-61.
- Lobell, J., 2006. The Milgo experiment: an Interview with Haresh Lalvani. *Architectural Design*, 76(4), pp. 52-61.
- Lynn, G., 1999. *Animate Form*. New York: Princeton architectural press.
- Lytard, J. F., 2005. *La condició Postmoderna*. Barcelona: Angle Editorial.
- Maciel, A., 2008. Artificial Intelligence and the Conceptualisation of Architecture. En: *Space Craft: Developments in Architectural Computing*. London: RIBA Publishing, pp. 60-67.
- Malkawi, A. M., 2005. Performance Simulation: Research and Tools. En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, eds. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spon Press, pp. 85-96.
- Manovich, L., 2001. *The language of New Media*. Cambridge, Mass: The MIT Press.
- Mattelart, A., 2001. *Histoire de la société de l'information..* Paris: La Decouverte.
- McCleary, P., 2005. Performance (And Performers): In Search of Direction (and a Director). En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, eds. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spoon Press, pp. 215-224.
- Mcluhan, M., 2001. *The Medium is the Massage. An Inventory of Effects*. Berkley, CA: Gingko Press.
- Mcluhan, M., 2003a. The Galaxy Reconfigured or the Plight of Mass Man in an Individualist Society. En: N. Wardrip-Fruin & N. Montfort, eds. *The New Media Reader*. Cambridge, Mass - Londres: The MIT Press, pp. 194-202.
- Mcluhan, M., 2003. The medium is the message. En: N. Wardrip-Fruin & N. Montfort, eds. *The New Media Reader*. Cambridge - Londres: The MIT Press, pp. 203-208.
- Menges, A., 2008. Instrumental geometry. *Architectural Design*, 78(2), pp. 42-53.

- Menges, A., 2012. Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design. *Architectural Design*, 82(2), pp. 14-21.
- Mitchell, M., 1996. *An Introduction to Genetic Algorithms*. Cambridge, Mass: The MIT Press.
- Mitchell, W. & McCullough, M., 1995. *Digital Design Media..* New York: Van Nostrand Reinhold.
- Moe, K. & Smith, R. E., 2012. *Building Systems. Design, Technology and Society*. Londres - New York: Routledge.
- Morange, M., 1994. *Histoire de la biologie moleculaire*. Paris: La Découverte.
- Morin, E., 2005. *Introduction à la pensée complexe*. Paris: Editions du Seuil.
- Murphie, A. & Potts, J., 2003. *Culture and Technology*. New York: Palgrav.
- Murray, J. H., 2003. Inventing the Medium. En: N. Wardrip-Fruin & N. Montfort, edits. *The New Media Reader*. Cambridge – Londres : The MIT Press, pp. 3-11.
- Neuman, E., 2012. The collapsing of technological performance and the subject's performance. En: E. Neuman & Y. J. Grobman, edits. *Performatism. Form and Performance in Digital Architecture*. London - New York: Routledge, pp. 33-36.
- Neuman, E. & Grobman, Y. J., 2012. Performatism: A manifesto for architectural performance. En: E. Neuman & Y. J. Grobman, edits. *Performatism. Form and Performance in Digital Architecture*. London - New York: Routledge, pp. 3-7.
- O'Reilly, U. M., Ross, I. & Testa, P., 2000. Emergent design: Artificial life for architecture design. *Artificial Life VII*, . En: *Artificial Life VII*. s.l.:The MIT Press, pp. 454-463.
- Ottchen, C., 2009. The Future of Information Modeling and the End of Theory. *Architectural Design*, 79(2).
- Ouzounis, C. A. & Valencia, A., 2003a. Bioinformatics and the theoretical foundations of molecular biology. *Bioinformatics*, 18(3), pp. 377-378.
- Ouzounis, C. A. & Valencia, A., 2003. Early bioinformatics: the birth of a discipline – a personal view. *Bioinformatics*, 19(17), pp. 2176-2190.
- Oxman, R., 2006. Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, Volumen 27 , pp. 229-65.
- Oxman, R., 2008a. Performance-based Design: Current Practices and Research Issues. *International Journal of Architectural Computation*, 6(1), pp. 1-17.
- Oxman, R., 2008. Digital Architecture as a Challenge for Design Pedagogy: Theory, Knowledge, Models and Medium. *Design Studies*, Volumen 29, pp. 99-120.
- Peters, B., 2013. Introduction. Computation Works: The Building of Algorithmic Thought. *Architectural design*, 83(2), pp. 8-15.
- Phelan, S. E., 1999. A Note on the Correspondence Between Complexity and Systems Theory. *Systemic Practice and Action Research*, 12(3), pp. 237-246.
- Pickering, A., 2002. Cybernetics and the Mangle. *Social Studies of Science*, 32(3), pp. 413-437.
- Picon, A., 2010. *Digital Culture in Architecture. An Introduction for the Design Professions*. Basel: Birkhauser GMBH.
- Picon, A., 2012. Architecture as performative art. En: E. Neuman & Y. J. Grobman, edits. *Performatism. Form and Performance in Digital Architecture*. London - New York: Routledge, pp. 15-19.
- Progressive Architecture, 1967. Performance Design. *Progressive Architecture*.

- Progressive Architecture, 1967. *Performance Design*. s.l.:s.n.
- Prusinkiewicz, P. e. a., 1996. *L-Systems: From the Theory to Visual Models of Plants. Proceedings of the 2nd CSIRO Symposium on Computational Challenges in Life Sciences*. s.l., CSIRO Publishing.
- Prusinkiewicz, P. & Lindenmayer, A., 1990. *The Algorithmic Beauty of Plants*. New York: Springer-Verlag.
- Rahim, A., 2005. Performativity: Beyond Efficiency and Optimization in Architecture. En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, edits. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spoon Press, pp. 177-192.
- Rahim, A., 2006. *Catalytic Formations. Architecture and Digital Design*. Oxon: Taylor & Francis.
- Rahim, A., 2006. *Catalytic Formations: Architecture and Digital Design*. s.l.:Taylor & Francis.
- Ramage, M., Chapman, D. & Brissell, C., 2013. Editorial: On cybernetics and Complexity. *Kybernetes*, 42(2), p. 1.
- Ramage, M. & Shipp, K., 2009. *Systems Thinkers*. Londres: Springer.
- Raman, M., 2005. Sustainable Design: An American Perspective. En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, edits. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spon Press, pp. 41-54.
- Rashad, A. & Alfaris, A., 2010. *A Performance Based Generative Design System Methodology for Sustainable Design in Practice. International Conference on Technology & Sustainability in the Built Environment Conference*. Riya, s.n.
- Reiser, J. & Umemoto, N., 2012. Architecture Performing Itself. En: Y. J. Grobman & E. Neuman, edits. *Performatism: Form and Performance in Digital Architecture*. New York: Routledge, pp. 171-182.
- Rocha, A. J. M., 2004. *Architecture Theory 1960- 1980. Emergence of a Computational Perspective. Tesis doctoral*. Cambridge, Mass: Massachusetts Institute of Technology.
- Rocker, I. M., 2006. When Code Matters. *Architectural Design*, 76(4), pp. 16-25.
- Rosenblueth, A., Wiener, N. & Bigelow, J., 1943. Purpose, Behavior and Teleology. *Philosophy of Science*, 10(1), pp. 18-24.
- Rovaletti, M. L., 1989. Teoría general de los sistemas. *Signo y Pensamiento*, Volumen 15.
- Schonwandt, W. L. y otros, 2013. *Solving Complex Problems. A Handbook*. Berlin: Jovis Verlag GmbH.
- Schumacher, P., 2012. Architecture's Next Ontological Innovation. En: *Not Nature, tarp – Architectural Manual*. New York: Pratt Institute.
- Schwitzer, C., 2005. Engineering Complexity: Performance Based Design in Use. En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, edits. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spoon Press, pp. 112-122.
- Sean, L. & (eds), Y. J., 2007. *Softspace. From a Representation of Form to a Simulation of Space*. Oxon: Routledge.
- Searls, D. B., 2010. The roots of Bioinformatics. *PLoS Computational Biology*, 6(6), pp. 1-7.
- Segal, J., 2003. *Le zero et le un. Histoire de la notion scientifique d'information au 20e siecle*. Paris: Editions Syllepse.
- Siles Gonzales, I., 2007. Cibernética y sociedad de la información: El retorno de un sueño eterno. *Signo y Pensamiento*, XXVI(050), pp. 84-99.
- Silver, M., 2005. Automason 1.0. *The Journal of Architecture and Computation*. <http://www.comparch.org.html>.
- Silver, M., 2006. Codes Eros and Craft: An Interview with Evan Douglis. *Architectural Design*, 76(4), pp. 62-71.

- Silver, M., 2006. Codes, eros and craft: an interview with Evan Douglass. *Architectural Design*, 76(4), pp. 62-71.
- Simon, H. A., 1996. *The Sciences of the Artificial*. Cambridge, Mass - Londres: The MIT Press.
- Singh, V. & Gu, N., 2012. Towards an integrated generative design framework. *Design Studies*, Volumen 33, pp. 185-207.
- Sprecher, A., 2012. Informationism: information as architectural performance. En: E. Neuman & Y. J. Grobman, edits. *Performatism. Form and Performance in Digital Architecture*. London - New York: Routledge, pp. 27-31.
- Spuybroek, L., 2005. The Structure of Vagueness. En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, edits. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spoon Press, pp. 161-176.
- Spuybroek, L., 2010. NOX Diagrams. En: M. Garcia, ed. *The Diagrams of Architecture*. s.l.:Wiley.
- Terzedis, K., 2006. *Algorithmic Architecture*. s.l.:Routledge.
- Terzedis, K., 2008. Algorithmic Complexity: Out of Nowhere. En: *Complexity. Design Strategy and World View*. Berlin: Birkhauser Verlag AG, pp. 75-86.
- Testa, P., O'Reilly, U.-M., Weiser, D. & Ross, I., 2001. Emergent Design: a crosscutting research program and design curriculum integrating architecture and artificial intelligence. *Environment and Planning B*, 28(4), pp. 481 - 498.
- Trifonov, E. N., 2000. Earliest pages of bioinformatics. *Bioinformatics*, 16(1), pp. 5-9.
- Umpleby, S. A. & Dent, E. B., 1999. The origins and purposes of several traditions in systems theory and cybernetics. *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 30(2), pp. 79-103.
- Van Berkel, B. & Bos, C., 2010. Diagrams. En: M. Garcia, ed. *The Diagrams of Architecture*. s.l.:Wiley, pp. 222-227.
- Van Dijkum, C., 1997. From cybernetics to the science of complexity", *Kybernetes*, Vol. 26 Nos 6/7, pp. 725-37. *Kybernetes*, 26(6-7), pp. 725-737.
- Vincent, J., 2009. Biomimetic Patterns in Architectural Design. *Architectural Design*, 79(6), pp. 74-81.
- Virilio, P., 1996. *Cybermonde la politique du pire. Conversation avec Philippe Petit*. Paris: Textuel.
- Von Neumann, J., 1962. Central and Logical Theory of Automata. En: A. Taub, ed. *John Von Neumann. Collected Works. Volume V. Design Of Computers, Theory of Automata and numerical analysis*. Oxford, London, New York: Pergamon Press.
- Waldrop, M. M., 1992. *Complexity : the emerging science at the edge of order and chaos*. New York : Simon & Schuster.
- Weaver, W., 1948. Science and Complexity. *American Scientist*, Volumen 36, pp. 536-544.
- Weinstock, M., 2004. Morphogenesis and the Mathematics of Emergence. *Architectural Design*, Volumen 74, pp. 10-17.
- Weinstock, M., 2006a. Self-organisation and the structural dynamics of plants. *Architectural Design*, 76(2), pp. 26-33.
- Weinstock, M., 2006. Self-organisation and material constructions. *Architectural Design*, 76(2), pp. 34-41.
- Weinstock, M., 2010. *The architecture of emergence : the evolution of form in nature and civilisation*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Whalley, A., 2005. Product and Process: Performance Based Architecture. En: B. Kolarevic & A. M. Malkawi, edits. *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*. New York: Spon Press, pp. 21-40.

Wiener, N. (., 1962. *Cybernétique et société*. Paris: Deux rives.

Wiener, N., 1998. *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas*. Barcelona: Tusquets editores.

Williams, C. J. & Kontovourkis, O., 2008. Practical Emergence. En: *Space Craft: Developments in Architectural Computing*. London: RIBA Publishing, pp. 68-81.

Williams, R., 2003. The Technology and the Society. En: N. Wardrip-Fruin & N. Montfort, edits. *The NewMediaReader*. Cambridge - Londres: The MIT Press..

Winner, L., 2003. Mythinformation. En: N. Wardrip-Fruin & N. Montfort, edits. *The New Media Reader*. Cambridge – Londres: The MIT Press, pp. 588 - 598.

Wolfram, S., 1994. Statistical mechanics of cellulara autómatas. En: *Cellular automata and complexity: collected papers*. Reading, MA: Addison-Wesley.

Wolfram, S., 2002. *A New Kind of Science*. Champaign: Wolfram Media.

Zera Polo, A., 2010. Between Ideas and Matters. Icons, Indexes, Diagrams, Drawings and Graphs. En: M. Garcia, ed. *The Diagrams of Architecture*. s.l.:Wiley, pp. 237-244.