

Diseño basado en prestaciones en la arquitectura. Estrategias proyectuales para mejorar la eficiencia energética de los edificios

Manuela Ianni

<http://hdl.handle.net/10803/482013>

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.

TESIS DOCTORAL

Título

DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES EN LA ARQUITECTURA

Estrategias proyectuales para mejorar la eficiencia energética de los edificios

Realizada por **Manuela Ianni**

en el Centro **La Salle**
Universidad Ramón Llull

y en el Departamento **Arquitectura**

Dirigida por **Dr. Leandro Madrazo**

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi director de tesis, Dr. Leandro Madrazo, por el tiempo, dedicación y apoyo intelectual que ha brindado a esta investigación, y por sus revisiones de este documento.

Un agradecimiento especial lo debo a quienes compartieron sus conocimientos y sus experiencias conmigo. A Marco Massetti y Gerardo Wadel por haberme introducido al ámbito de la eficiencia energética en la arquitectura. A Michelle Sánchez de León Brajkovich por haberme guiado en mis primeros pasos en el uso de herramientas de simulación energética. A Francesc Bardera Collazos por su colaboración en el caso de estudio. A Pablo Manzano por las correcciones del texto.

A todos los compañeros del grupo de investigación ARC y del programa de doctorado de la Escuela de Arquitectura La Salle.

Asimismo, quiero agradecer a David Abondano por haberme acompañado en este camino. A mi familia y amigos por haberme apoyado incondicionadamente.

El presente trabajo se ha realizado en el grupo de investigación ARC Ingeniería y Arquitectura La Salle, en el Campus La Salle de Barcelona, Universidad Ramón Llull.

Esta tesis se ha desarrollado gracias a la ayuda facilitada por el Subprograma de Formación de Personal Investigador (BES-2010-032583), del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011, del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO), de España. El trabajo desarrollado en esta tesis está vinculado al proyecto de investigación “RÉPENER: Control y mejora de la eficiencia energética en la edificación mediante el uso de repositorios” (BIA 2009-13365), llevado a cabo entre 2009 y 2012, financiado por el mismo Ministerio. El resultado final de este proyecto de investigación ha sido el prototipo de sistema de información energética SEÍIS (*Semantic Energy Information System*) (<http://www.seis-system.org/>).

Resumen

En el contexto actual, en el que el ahorro en el consumo de energía se ha convertido en un objetivo prioritario para la arquitectura, son necesarios métodos y herramientas que permitan proyectar con eficacia edificios energéticamente eficientes. El diseño basado en prestaciones (*performance-based design* o PBD) es un método de diseño que aspira a mejorar la toma de decisiones durante el proyecto con el fin de garantizar que una vez construido el edificio cumplirá con los requisitos preestablecidos. El diseño basado en prestaciones (DBP) surgió a partir de la Investigación Operativa (IO) y el Análisis de Sistemas (AS), disciplinas que se desarrollaron durante la Segunda Guerra Mundial con el fin de mejorar la toma de decisiones en el ámbito militar. Mediante el DBP se “simulaban”, empleando modelos matemáticos y con el apoyo de la tecnología informática, los efectos de soluciones alternativas para elegir aquella que mejor cumplía unos objetivos determinados. La reducción de errores en la toma de decisiones fue considerada una de sus ventajas principales, y artefactos tecnológicos como misiles y cohetes, y también el ordenador, fueron sus productos más destacados.

Durante la segunda mitad del siglo XX, el DBP comenzó a introducirse en el ámbito de la arquitectura. El concepto de *performance* se contrapuso a la noción de función que había prevalecido en el discurso arquitectónico desde el siglo XIX, y que constituyó uno de los dogmas del movimiento moderno. Mientras que el debate sobre la función en la arquitectura se había centrado hasta entonces en el carácter representativo del edificio, es decir, en la capacidad de la forma para expresar la función en términos estéticos, el concepto de *performance*, por otra parte, puso el énfasis en el funcionamiento del edificio. Esto conllevaba considerar el edificio como un producto tecnológico o un artefacto con unos objetivos a cumplir, más que como un objeto artístico con significado. Para integrar el DBP en el proyecto arquitectónico, comenzaron a plantearse métodos de diseño que facilitasen la búsqueda de una forma adecuada a un programa de necesidades, empleando para ello las técnicas y herramientas utilizadas en la creación de productos tecnológicos. A pesar de que estos métodos de diseño se postularon como una solución a problemas cada vez más complejos, no tuvieron el efecto esperado. Se puso de manifiesto la imposibilidad de prescindir del valor estético y simbólico de la arquitectura que el DBP, tal como se empleaba en la ingeniería de sistemas, obviaba. La arquitectura postmoderna entendió que una de las funciones de la arquitectura era comunicar y, por ello, recurrió a teorías lingüísticas para explicar los mecanismos por los que las formas arquitectónicas adquieren significado. A finales del siglo XX, los avances en las herramientas de simulación permitieron replantear la necesidad del DBP en la arquitectura: no se consideraba ya como un método para crear edificios capaces de cumplir con unos requisitos predefinidos, sino más bien para explorar posibilidades formales utilizando los valores de las prestaciones como inputs en el proceso de diseño. Este proceso de generación de la forma a partir de unas prestaciones se materializó en edificios como el City Hall London (2002) y el Swiss Re Building (2004) de Norman Foster, y el Bird's Nest (2008) y Beijing National Stadium (2009) de Herzog & De Meuron; edificios que son significativos social, cultural y económicamente, y que al mismo tiempo aspiran a ser

eficientes desde el punto de vista constructivo y energético. Estas obras ejemplifican la denominada “arquitectura performativa” (*performative architecture*), que es el resultado de un “diseño performativo” (*performative design*), es decir, de retroalimentar la generación de la forma con la información acerca de las prestaciones del edificio.

El propósito de esta tesis es comprender y valorar el potencial que ofrece la metodología del diseño basado en prestaciones para proyectar y construir edificios energéticamente eficientes. Esto conlleva, en primer lugar, afrontar una serie de cuestiones fundamentales, como son la naturaleza artística y científica de la arquitectura, la sistematización del proceso de diseño y el papel del ordenador en este proceso, y, finalmente, el carácter de objeto artístico y de producto tecnológico que tienen los edificios. Se trata asimismo de identificar los problemas que hay que superar para que el DBP pueda llegar a consolidarse en el proyecto de arquitectura, así como de sugerir soluciones a los mismos.

En la actualidad, la aplicación del DBP en el ámbito del proyecto de edificios energéticamente eficientes es aún limitada, como lo demuestra el hecho de que en la práctica profesional se sigan empleando herramientas de simulación principalmente en las etapas finales del proyecto, con el fin de verificar el cumplimiento con la normativa o para conseguir la certificación energética, en lugar de emplearse para apoyar la toma de decisiones a lo largo de todo el proceso de diseño de un edificio, desde sus fases iniciales hasta su construcción y ulterior uso. Así, ante la falta de métodos y herramientas que faciliten la toma de decisiones a partir de información avalada y contrastada empíricamente, las decisiones cruciales que determinan la eficiencia energética de un edificio se toman de manera intuitiva, basándose en la experiencia y el conocimiento de los proyectistas. Son necesarias, por tanto, estrategias proyectuales que permitan integrar la metodología basada en el DBP en el proceso de proyecto. Con este fin, se ha analizado el proceso de proyecto que precedió a la construcción de un edificio de viviendas proyectado para cumplir con la normativa de eficiencia energética vigente, con el fin de proponer un proceso de proyecto alternativo basado en la aplicación del DBP. La comparación de ambos procesos proyectuales, el que se aplicó en la construcción del edificio y el proceso alternativo basado en el DBP, ha permitido constatar la eficacia de las estrategias proyectuales propuestas para crear edificios energéticamente eficientes.

Abstract

Reducing energy consumption has become a priority for contemporary architecture. Consequently, methods and tools to effectively design energy-efficient buildings are needed. Performance-based design (PBD) is a design method that aims to improve decision making during the design process in order to ensure that, once built, a building will meet the predefined requirements. PBD emerged from Operational Research (OR) and Systems Analysis (SA), two disciplines developed during the Second World War to improve military decision-making. PBD was used to “simulate” alternative solutions using mathematical models and computer technology, in order to choose the one that best met some previously determined objectives. One of its main advantages was the reduction of errors in decision making, while its most outstanding products were technological devices such as missiles and rockets, and also the computer.

During the second half of the 20th century, PBD began to be introduced in the field of architecture. The concept of performance was played against the notion of function, which prevailed in the architectural discourse since the 19th century and was a dogmatic idea of the modern movement. While the notion of function in architecture focused on the representative character of the building, that is, the capacity of the form to express the function in aesthetic terms, on the other hand, the concept of performance emphasized on the operability of the building. This entailed considering the building as a technological product, or an artefact with some objectives to fulfil, instead of an artistic and meaningful object.

Design methods were developed in order to integrate PBD in architectural design, with the objective of easing the search of a form suitable to program needs, by applying techniques and tools used in the creation of technological products. Although these design methods were postulated as a solution to increasingly complex problems, they did not have the expected effect. It became then evident the impossibility to dispense with the aesthetic and symbolic qualities of architecture, which the PBD, as it was being applied in systems engineering, ignored. Postmodern architecture remarked that one of the functions of architecture was to communicate and, therefore, it applied linguistic theories to explain the mechanisms by which architectural forms acquire meaning. The advances in simulation tools at the end of the 20th century led to reconsider the need for PBD in architecture: it was no longer meant to be a method to create buildings capable of fulfilling predefined requirements, but rather to explore formal possibilities using the performance values as inputs to the design process. This process of generating the form considering its performance gave rise to buildings such as the City Hall London (2002) and the Swiss Re Building (2004) by Norman Foster, and the Bird's Nest (2008) and Beijing National Stadium (2009) by Herzog & De Meuron; buildings that are socially, culturally and economically meaningful and at the same time aspire to be efficient from the constructive and energetic perspective. These works exemplify the so-called “performative architecture”, which is the result of a “performative design”; that is, a generative process driven by performance.

The purpose of this thesis is to understand and assess the potential of PBD to design and build energy-efficient buildings. This purpose entails, in the first place, facing up fundamental questions such as the artistic and scientific nature of architecture, the systematization of the design process and the role of the computer in this process, and finally, the artistic and technological nature of a building. It also implies identifying the problems that must be overcome in order to strengthen the use of PBD in architectural design, and suggesting solutions to them.

Nowadays, the application of PBD in the design of energy-efficient buildings is still limited. This is evidenced by the fact that, in professional practices, simulation tools are mainly used in the final stages of the design in order to check regulations or to obtain an energy certification, instead of being applied to support decision making throughout the entire building design process, from its initial phases to its construction and subsequent use. In the absence of methods and tools that facilitate a decision-making process based on reliable and verifiable information, some crucial decisions that determine the energy efficiency of a building are taken intuitively, on the basis of the experience and knowledge of the designers. Therefore, there is a need of developing strategies to integrate the methodology based on PBD in the design process. For that purpose, the design process of a residential building designed to comply with current energy efficiency regulations has been analysed, in order to propose an alternative design process based on PBD. The comparison of both processes, the one that was applied in the construction of the building and the alternative process based on PBD, made it possible to verify the effectiveness of the proposed design strategies to create energy-efficient buildings.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

1. Marco teórico y objeto de la investigación	3
2. Objetivo de la investigación.....	17
3. Ámbito de la investigación.....	17
4. Justificación y pertinencia del tema propuesto.....	20
5. Metodología de la investigación	21
6. Estructura de la tesis.....	24
Bibliografía	26

Capítulo1

GENEALOGÍA DEL DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES (DBP)

Introducción.....	30
1.1 Orígenes y principios teóricos del diseño basado en prestaciones	31
1.1.1 Ciencia de la toma de decisiones.....	32
1.1.1.1 La resolución de problemas: holismo y racionalidad.....	32
1.1.1.2 La toma de decisiones: métodos y técnicas.....	37
1.1.1.3 El uso del modelo: descripción, predicción, experiencia y simulación.....	44
1.1.2 Ciencia de los sistemas.....	49
1.1.2.1 Teoría de sistemas: las propiedades del concepto moderno de sistema	50
1.1.2.2 Cibernética: los procesos del concepto moderno de sistema	52
1.1.2.3 Inteligencia Artificial: aplicaciones del concepto moderno de sistema	58
1.1.3 Ciencia de lo artificial	61
1.1.3.1 El diseño científico: diseño como proceso racional y métodos de diseño	62
1.1.3.2 El diseño como ciencia: el método del diseño	64
1.1.3.3 La ciencia de diseño: el estudio científico del diseño	65
1.2 Metodología del diseño basado en prestaciones.....	67
1.2.1 El concepto de prestación en el diseño.....	67
1.2.2 Las etapas del diseño basado en prestaciones	70
1.2.2.1 Análisis: definición de requisitos de prestaciones.....	70
1.2.2.2 Síntesis: combinación y búsqueda de alternativas	73
1.2.2.3 Evaluación: verificación del cumplimiento de objetivos	74
1.3 Expectativas, logros y límites del diseño basado en prestaciones	76
1.3.1 Expectativas: reducción del error e innovación	76
1.3.2 Logros: del cohete al ordenador	77
1.3.3 Límites: el factor humano en el diseño	78
1.4 Conclusiones	85
Bibliografía	86

Capítulo 2

EL CONCEPTO DE PERFORMANCE EN LA ARQUITECTURA

LA FORMA Y EL PROCESO GENERATIVO DE LA FORMA

Introducción.....	92
2.1 Teorías de la forma desde el siglo XIX.....	94
2.1.1 Analogía biológica: el concepto moderno de función.....	97
2.1.1.1 La forma como estructura: función como principio de la organización.....	99
2.1.1.2 La forma como evolución: la forma se adapta a la función.....	105
2.1.1.3 La forma como organismo: la forma es la función.....	113
2.1.1.4 La función como estilo: el funcionalismo.....	120
2.1.2 Analogía cibernética: el concepto de <i>performance</i>	123
2.1.2.1 La forma como desarrollo: organización espacial y temporal.....	125
2.1.2.2 La forma como control: lo individual y lo colectivo.....	131
2.1.2.3 La forma como comunicación: signos, símbolos y texto.....	134
2.1.2.4 La <i>performance</i> como estilo: performalismo.....	140
2.2 Métodos de diseño.....	146
2.2.1 El método analítico: el ordenador como metáfora del diseño.....	147
2.2.1.1 Diseño como problema.....	149
2.2.1.2 Diseño como sistema.....	150
2.2.1.3 Diseño como proceso.....	153
2.2.1.4 El fracaso del método de diseño.....	155
2.2.2 El método generativo: reproducir el diseño en el ordenador.....	157
2.2.2.1 Diseño como síntesis.....	159
2.2.2.2 Diseño basado en reglas.....	161
2.2.2.3 Diseño como aplicación de tipos.....	164
2.2.2.4 Diseño basado en conocimiento previo.....	167
2.2.2.5 Diseño evolutivo.....	170
2.2.3 Sistemas generativos: el ordenador como medio para el diseño.....	177
2.2.3.1 Diseño generativo.....	178
2.2.3.2 Diseño performativo.....	184
2.3 Conclusiones.....	189
Bibliografía.....	190

Capítulo 3

DISEÑO PERFORMATIVO

IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES EN EL PROYECTO DE ARQUITECTURA

Introducción.....	200
3.1 Sistemas de diseño generativo basado en prestaciones.....	201
3.1.1 Sistemas generativos basados en prestaciones estructurales.....	204
3.1.1.1 eifForm: Structural Shape Grammar (SSG)+ Simulated Annealing (SA).....	204
3.1.1.2 Voxel: Genetic Algorithm (GA)+Stress Analysis.....	208

3.1.1.3 PBM: Curve fitting algorithm + Finite Element Method (FEM)	211
3.1.2 Sistemas generativos basados en prestaciones térmicas y lumínica.....	214
3.1.2.1 GenPOD: Morphing Algorithm (MA)+ SustArc /ENVI-met (CFD).....	214
3.1.2.2 CDO tool: Multicriteria Ant Colony Optimization (MACO) + Radiance (CFD)....	217
3.1.2.3 DEXEN: Genetic Algorithm (GA) + Radiance (CFD) + Pareto Algorithm	220
3.1.3 Sistemas generativos basados en prestaciones energéticas	223
3.1.3.1 GDS: Shape Grammar (SG)+ Genetic Algorithm (GA)+ Energy Simulation (DOE-2.1)	223
3.1.3.2 GENE_ARCH: Genetic Algorithm (GA)+ Energy Simulation (DOE-2.1) + Pareto Algorithm	226
3.1.3.3 Fuzzy Neural Tree (FNT) + Multiobjective evolutionary algorithm (MOEA)+ PHPP	229
3.2 Conclusiones	235
Bibliografía	237

Capítulo 4

CASO DE ESTUDIO

ESTRATEGIAS PROYECTUALES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO DE VIVIENDAS EN Cerdanyola del Vallès

Introducción.....	242
4.1 El proceso de proyecto convencional.....	244
4.2 El proceso de proyecto alternativo que implementa el DBP	252
4.2.1 Estrategias para integrar herramientas de simulación en el proyecto.....	253
4.2.2 Implementación de las estrategias de integración de herramientas de simulación.....	256
4.2.2.1 Anteproyecto: sistema edificio.....	257
4.2.2.2 Proyecto básico: subsistemas del edificio	264
4.2.2.3 Proyecto ejecutivo: componentes del edificio.....	274
4.2.3 Comparación de datos calculados y monitorizados del edificio en uso	282
4.2.3.1 Adquisición de datos: equipos de medición y registro.....	283
4.2.3.2 Estudio y análisis de los datos monitorizados.....	285
4.2.3.3 Validación de los datos de simulación	289
4.3 Comparación de los resultados de los dos procesos de proyecto.....	293
4.5 Aplicación de SEÍS en el proceso de proyecto	296
4.6 Conclusiones	301
Bibliografía	303

Capítulo 5

CONCLUSIONES

5.1 Conclusión.....	306
5.2 Limitaciones de la investigación	311
5.3 Líneas futuras	312

“Une maison est une machine-à-habiter”
(Le Corbusier, 1923).

“As we do with the airplane, we know what the airplane weights, the range etc. we know everything of its performances. The designers must be responsible for the technology itself, where the resources are coming from, how we get them; the designers must be responsible from beginning to end”
(Buckminster Fuller, 1978).

“Arte y Ciencia son dos formas de conocimiento, pero mejor subirse a un avión diseñado por un científico que a otro ideado por un poeta” (Wagensberg, 2002).

INTRODUCCIÓN

1. Marco teórico y objeto de la investigación

El concepto de *performance*

El término anglosajón *performance* se corresponde con comportamiento, desempeño, actuación; ejecución; funcionamiento, comportamiento funcional, modo de trabajar; características; cualidades técnicas; aptitud, cualidad, eficacia; capacidad, potencia; rendimiento, producción, resultados obtenidos o cumplimiento (Collazo, 1980) (Beidbeder, 1988). Se trata de un término ambiguo que abarca una serie de significados diversos y que no pueden asumirse como sinónimos. De hecho, el término *performance* adquiere una connotación específica de acuerdo con su campo de su aplicación, ya sea el arte y los estudios humanísticos, la economía y los negocios, o el discurso técnico-científico y las ciencias aplicadas. En su texto *Performance or Else: from Discipline to Performance* (2001), Jon McKenzie asocia a cada uno de estos ámbitos del conocimiento una descripción específica del concepto genérico de *performance* (McKenzie, 2001). En el campo del arte y de los estudios humanísticos, la *performance* se refiere a una acción, evento o actuación que tiene como fin transmitir un mensaje o generar un efecto, por ejemplo, en una *performance* “cultural”. En el ámbito de los negocios o la organización empresarial, la *performance* se entiende como el rendimiento de una organización, por lo que se puede hablar de una *performance* “organizativa”. En el ámbito de la tecnología o las ciencias aplicadas, la *performance* es sinónimo de una cualidad técnica, la prestación o el grado de cumplimiento de una tarea; en otras palabras, una *performance* “tecnológica”. Esta última acepción del término *performance* –prestación– es el objeto de estudio de esta tesis.¹ Con todo, resulta indispensable entender el término desde la perspectiva de todos los campos del conocimiento ya mencionados, con el fin de discernir entre algunos conceptos que se derivan de él y a los que aludiremos durante el desarrollo de este trabajo, tales como los conceptos de eficacia, eficiencia y efectividad.

***Performance* cultural: acción medida en base a la eficacia**

En el ámbito artístico y de los estudios humanísticos, la *performance* se entiende como un acto, una acción o una actuación, y se mide en función de su capacidad para producir un efecto, es decir su “eficacia”. Una amplia variedad de actividades como las representaciones teatrales, las ceremonias, los festivales, los discursos públicos y las manifestaciones políticas son acciones que tienen como objetivo transmitir o difundir un mensaje; esto es, producir un efecto. En particular, el teatro puede considerarse un modelo de este tipo de *performance*, por tratarse de una “puesta en escena” que no solamente precisa de un actor, sino también de un espectador. Teniendo como objetivo la promoción de la cultura, la *performance* cultural se basa en la relación entre el que emite un mensaje y el que lo recibe, entre quien representa y quien asiste; es por tanto una acción que se

¹ A lo largo del texto se usará el extranjerismo *performance* para indicar un concepto general capaz de resumir toda una serie de significados, sin connotación específica. Sin embargo, siempre que el campo de investigación se limite a un ámbito específico, se usará la traducción del término *performance* más adecuada para ese ámbito.

medida en términos de la eficacia en la transmisión de un mensaje o una idea. Este significado del término *performance* está presente en las experimentaciones artísticas de Jackson Pollock, quien se alejó de la idea de obra de arte como objeto acabado mediante la técnica de pintura de acción (*action painting*), desplazando el interés desde el producto hasta el proceso de creación, es decir, al propio acto de pintar (Figura 1). En la década de 1960, la idea de obra de arte como acción llevó a Allan Kaprow a organizar *happenings*, eventos relacionados con distintas formas de expresión artística que exigían la participación del público, receptor del mensaje. Hoy en día esta idea de *performance* se aplica sobre todo a las acciones organizadas por medios telemáticos y realizadas en la calle de forma espontánea, conocidas como *flash mobs*. Cualquier expresión artística –danza, teatro, pintura– caracterizada por la acción, la relación entre el actor y el espectador, la temporalidad y la transmisión activa de un mensaje público se denomina *performance* “artística”. No obstante, las teorías sobre la *performance* cultural surgieron fuera del ámbito teatral y artístico, concretamente en los campos de la antropología, la lingüística y la sociología, que encontraron en la metáfora del teatro herramientas útiles para analizar las prácticas rituales, el habla y el comportamiento social.



Figura 1. Exhibición “I am nature!” de Jackson Pollock. Fuente: fotografías de Hans Namuth (1950). National Portrait Gallery, Smithsonian Institution Washington.

El concepto de *performance* cultural se empezó a desarrollar a mediados de la década de 1950, cuando la antropología estaba más centrada en los rituales que en la estructura mística (Bateson, 1955). Desde la perspectiva lingüística, se prestaba más atención a la palabra que a la lengua, pasando del estudio de las estructuras gramaticales al análisis de la pragmática de los enunciados. En sus conferencias en la Universidad de Harvard (1955), John Langshaw Austin introdujo el concepto de *speech act*, que destacaba la competencia comunicativa del habla. Esencialmente su teoría se basaba en la idea de que decir algo es hacer algo, o sea, es un “acto performativo”. De acuerdo con esta teoría, cuando se usan las formas propias del imperativo, no solamente se está diciendo algo, sino que también se está haciendo algo; se está impartiendo una orden. Si la sentencia es una promesa, como por ejemplo el “momento del Sí” en el contexto de un matrimonio, se está haciendo una promesa. Estos enunciados que no se limitan a describir un hecho, sino que por ser expresados realizan el hecho (una orden o una promesa), se definen como “enunciados performativos” –*performative utterances* (Austin, 1962)–. De esta forma se hizo posible una nueva manera de analizar el discurso en el momento de su ejecución. Desde la sociología, Erving Goffman analizó la “teatralidad” por medio de la

cual las personas interactúan unas con otras. Según él, la *performance* se articula en torno al concepto de “teatro de la vida”, escenario en el que cada participante desempeña un rol y desarrolla una actividad que influye en otros participantes (Goffman, 1959). A partir de 1980, estas nociones de *performance* surgidas de las ciencias humanas y sociales – *Performative Turn*–, contribuyeron a sentar las bases de una disciplina independiente denominada *Performance Studies*. En este nuevo ámbito disciplinar, a cuyo surgimiento contribuyeron el director de teatro Richard Schechner (Schechner, 1985) y el antropólogo Victor Turner (Turner, 1986), el teatro se convirtió en una herramienta analítica que podía ser útil para la antropología, la psicología y la sociología. Así se instauró la idea de que el concepto de *performance* no estaba circunscrito al arte, sino que abarcaba el comportamiento del ser humano en general. Partiendo de este planteamiento, el profesor de teatro Marvin Carlson concluyó que toda actividad humana capaz de influir en otras personas podía ser considerada una *performance* (Carlson, 1996).

***Performance* organizativa: rendimiento medido en base a la eficiencia**

En el ámbito económico, en el mundo de los negocios y en las agencias gubernamentales, se entiende por *performance* la manera en que se ejecuta un trabajo. En esta acepción, la palabra *performance* se aproxima al significado de rendimiento y desempeño. Basado en el ideal de maximización de beneficios y minimización de inversiones, es decir en la optimización de la relación *input-output*, el rendimiento económico u organizativo se mide en términos de “eficiencia”. El rendimiento reviste un papel importante en el control de la actividad laboral, en el desarrollo de las capacidades y en las decisiones sobre la promoción del personal. El rendimiento obedece principalmente a la organización y buena gestión de las partes implicadas en un negocio o empresa, por lo que se denomina *performance* “organizativa”. Los orígenes del interés por conocer el rendimiento en una organización deben buscarse en el sistema de ordenación racional del trabajo que Frederick Taylor planteó en su texto *The Principles of Scientific Management* (1911). Para mejorar la productividad de la empresa, Taylor aplicó el método científico (positivista y mecanicista), a fin de estudiar la relación entre la productividad del trabajador y las técnicas modernas de producción industrial, con el objetivo de maximizar la eficiencia de la mano de obra, máquinas y herramientas mediante la división sistemática de tareas, la organización racional del trabajo y el cronometraje de las operaciones, suprimiendo toda improvisación en la actividad industrial. Básicamente, Taylor propuso dividir las distintas tareas de un proceso de producción para su mejor organización –*task management* (Taylor, 1911)–. Las actividades de cada tarea debían estudiarse y mejorarse para hacer más eficiente todo el proceso productivo; para cada actividad debía seleccionarse un trabajador y su actividad debía evaluarse periódicamente. Para Taylor, el término *performance* indicaba la ejecución de una tarea de trabajo específica. La *performance* del trabajo individual debía controlarse –*performance assessment, performance appraisal, merit rating*– con el fin de mejorar la productividad de la empresa. La eficiencia y la productividad eran los principales criterios con los que se evaluaba el rendimiento del trabajador, pero también se tenían en cuenta otros, tales como la habilidad para solucionar los problemas, la ética laboral y la confianza. Esencialmente Taylor buscaba conceptualizar y organizar el trabajo desde una

perspectiva científica basada en un método de control racional y objetivo. Henry Ford aplicó estos principios de gestión racional del trabajo en la cadena de montaje para la producción en serie de sus automóviles.



Figura 2. Izquierda: producción en cadena o serie en Ford Motor Company. Fuente: Fotografía de Ullstein Bild (1925), Getty Images. Derecha: producción diversificada en Toyota Motor Company. Fuente: Fotografía de Junko Kimura (2009), Getty Images.

A pesar de que el modelo de Taylor constituyó el paradigma dominante de la organización del trabajo hasta mediados del siglo XX, el taylorismo no coincide exactamente con el concepto actual del rendimiento de la organización. Tras la Segunda Guerra Mundial, el modelo centralizado y uniforme propuesto por Taylor fue sustituido por modelos basados en la flexibilidad, la diversidad y la participación (Figura 2). El concepto de rendimiento se reconsideró a la luz de una perspectiva más holística, aplicándose no solamente al trabajador individual, sino a todos los niveles de la organización de la empresa. En este caso la idea no era controlar de forma racional al trabajador, sino organizar la empresa para que alcanzara sus máximos beneficios (organización de alto rendimiento). En otras palabras, no se trataba de controlar lo que un individuo era capaz de aportar a la empresa, sino cómo la empresa podía contribuir al rendimiento del individuo. A partir de los principios de la gestión científica –*scientific management*– asociados al modelo de la máquina, se empezó a generalizar el concepto del rendimiento en el marco de una nueva teoría de la organización –*performance management*–, cuyo modelo era la red y que en la práctica contribuía a la organización de recursos, sistemas, procesos, procedimientos, técnicas y personal de una empresa con el fin de cumplir sus objetivos estratégicos (Watkins, 2007). En la posguerra se pasó del control del trabajador a la mejora de sus condiciones, de las órdenes a la interacción participativa, ampliándose así la evaluación del rendimiento para abarcar el desarrollo de la persona, la planificación de la organización, la mejora de la calidad de vida laboral y la satisfacción de los empleados. El reto de la eficiencia se extendió de la medición y evaluación del rendimiento a la creación y desarrollo del mismo. Así, la evaluación del rendimiento se realizaba a diferentes niveles (individuo, equipo, departamento y corporación), y se llevaba a cabo en una amplia variedad de sectores, incluyendo la empresa, la educación y el gobierno.

Performance tecnológica: prestación medida en base a la efectividad

En el campo de las ciencias aplicadas e ingenierías, a diferencia de las artes y de la organización empresarial, la *performance* se entiende como la aptitud, propiedad o prestación de una tecnología o de un material y se mide en base a la “efectividad” con la que estos son capaces de cumplir unas tareas u objetivos predefinidos, esperados o deseados. Este concepto de *performance* tecnológica se desarrolló durante el periodo inmediatamente anterior a la Segunda Guerra Mundial. En respuesta a la demanda de armas cada vez más avanzadas por parte de gobiernos y fuerzas militares, los ingenieros y los profesionales de las diversas ciencias aplicadas unieron esfuerzos para llevar al límite las tecnologías existentes, desarrollando una nueva tecnología –*high technology*– con estándares de prestaciones más altos –*high performance*–. El modelo de referencia de la prestación tecnológica se debe buscar en la teoría de sistemas y la cibernética, y especialmente en el dispositivo de retroalimentación o servomecanismo –*feedback model*–, con el cual se logró crear los misiles auto-controlados. De hecho, el lanzamiento a la órbita terrestre del *Sputnik*, el primer satélite artificial, y el viaje a la luna realizado con la misión *Apollo* de la NASA simbolizan los logros a los desafíos planteados por la prestación tecnológica (Figura 3).



Figura 3. Izquierda: portada de la revista Pravda del 6 de octubre 1957, después de lanzamiento del satélite Spútnik. Fuente: Getty Images. Derecha: portada del Time del 25 de Julio 1969 dedicada a la llegada del hombre a la luna. Fuente: Time Magazine.

A pesar de que su gestación se concretó en el ámbito de la ciencia espacial y su incubación se produjo en la tensa atmósfera de la Guerra Fría, el paradigma de la *performance* tecnológica –que McKenzie define como *techno-performance* (McKenzie,

2001)– se extendió a los campos de la aeronáutica civil, la informática, el deporte y la educación, instalándose en todos los ámbitos de la vida cotidiana. Hoy en día, los circuitos integrados desarrollados forman parte de una infinidad de productos, como los automóviles, los teléfonos, los televisores y otros electrodomésticos. Especialmente el ordenador es una muestra tangible de cómo el paradigma de la prestación tecnológica se ha desplazado desde el ámbito militar al doméstico.

***Performance* y diseño: el origen del diseño basado en prestaciones**

Tras la realización de productos tecnológicos, capaces de alcanzar altos niveles de prestaciones (*performance* tecnológica), estaba un nuevo planteamiento del diseño que empezó a desarrollarse en la década de 1960, conocido como “diseño basado en prestaciones” (DBP) –*performance-based design* (PBD)–. Aquí el término “diseño” debe entenderse como la actividad intelectual que precede a la realización de un producto, más que los dibujos que sirven para su producción. El diseño, así considerado, es una actividad encaminada a resolver problemas (*problem-solving*): un proceso de toma de decisiones que permite elegir entre alternativas para resolver un problema en cualquier campo, desde la concepción de un producto tecnológico hasta su lanzamiento en el mercado, hasta la creación de una empresa, una ley o un plan político. A diferencia de las industrias manufactureras tradicionales (cerámica, textil y mobiliario) que se preocupaban sobre todo de la apariencia de los productos, en los sectores vinculados con la economía a gran escala y la producción en masa, como el del automóvil, la aeronáutica y los electrodomésticos, había riesgos económicos elevados, por lo que el diseño tenía como objetivo principal eliminar los errores de funcionamiento de los productos. Se necesitaba disponer de un procedimiento riguroso para hacer explícitos los objetivos que se querían alcanzar por medio del producto (problema), para luego decidir cómo deberían ser los productos (solución) para lograr estos objetivos.

Aquí se planteaba una cuestión crucial del diseño: ¿Cómo saber si algo funciona si aún no se ha construido o fabricado? Esta cuestión es particularmente relevante en la arquitectura. Los dibujos a escala y las maquetas son un tipo de representación que permiten verificar algunos aspectos de un edificio, como su apariencia (modelo icónico). Sin embargo, si se quiere verificar el funcionamiento de un producto –también de un edificio– se necesita otro tipo de representación, capaz de anticipar su funcionamiento (modelo simbólico o matemático). Este último tipo de representación se desarrolló en el ámbito militar –Investigación Operativa (IO) y Análisis de Sistemas (AS) –, donde fue especialmente útil ya que, en la evaluación de una táctica militar no se tiene la posibilidad de observar, ensayar o comprobar en la realidad los efectos de unas determinadas decisiones. El modelo matemático se aplicó luego en el diseño de misiles y cohetes, así como a otros productos tecnológicos para confirmar que un diseño dado cumplía con unos requisitos de prestaciones antepuestos. La definición de objetivos en términos de requisitos de prestaciones, y la verificación de su cumplimiento por medio de modelos matemáticos, eran los elementos fundamentales del DBP. Básicamente, el DBP se postuló como una metodología capaz de “simular” los efectos de diferentes propuestas de diseño, con el fin de mejorar el proceso de toma de decisiones. También hoy, la concepción de un producto tecnológico comienza con la definición de los objetivos expresados en

términos cuantitativos (requisitos de prestaciones), y sigue con la formulación de una o más hipótesis, cuyas prestaciones se miden por medio de modelos de simulación y se contrastan con los requisitos planteados. Los requisitos de las prestaciones, generalmente deducidos de unos estándares y/o valores de referencia (*benchmarks*), se aplican como criterios para valorar diversas propuestas u optimizar el funcionamiento de un producto. Bajo esta perspectiva, el DBP se convierte en un proceso de tentativas, pruebas y experimentación con varias alternativas lo que permite explicitar las razones por las que se elige una opción u otra para conseguir unos objetivos que también han sido expuestos de manera explícita.

***Performance* como paradigma de la postmodernidad**

El periodo inmediatamente posterior a la Segunda Guerra Mundial fue decisivo para la sistematización y consolidación del concepto de *performance* en sus diversas acepciones –cultural, económica u organizativa y tecnológica–. Como hemos visto, cada aspecto de la *performance* se ha desarrollado en un campo específico y se ha estructurado en función de diferentes retos. La *performance* cultural implica la realización de estructuras simbólicas del comportamiento: su reto es la eficacia, es decir la capacidad de transmisión de un mensaje o una idea. La *performance* económica u organizativa plantea estrategias para maximizar la producción de una organización (*output*), reduciendo al mínimo la inversión (*input*): su reto es la eficiencia. La *performance* tecnológica, por su parte, se refiere a la capacidad de un producto para servir a unas tareas en un contexto específico: su objetivo es la eficacia técnica o efectividad. Así, la eficacia, la eficiencia y la efectividad son valores distintos asociados cada uno de ellos a un ámbito cultural, económico o tecnológico. A pesar de esta diferenciación, todos los significados de *performance* surgen en un momento histórico específico en el que el interés de los diversos campos de conocimiento se trasladó de la expresión mediada al contacto directo, de la representación a la presentación, del discurso al cuerpo, de la ausencia a la presencia, y del producto al proceso. En esencia, los diversos conceptos de *performance* son la expresión de un único fenómeno: el de la interacción. En el ámbito de las ciencias humanas y sociales este fenómeno se ha explicado por medio de la metáfora del teatro y la relación entre el actor y el espectador; en el ámbito productivo, la interacción tiene lugar entre las diversas partes de la empresa; en el ámbito de la tecnología, en la estructura del servomecanismo (*feedback model*). Así, el concepto de *performance* encierra unas tendencias comunes a los diversos campos del conocimiento, cristalizando en un principio que pone en relación el comportamiento humano, las máquinas y su organización. Herbert Marcuse, alumno de Heidegger, explicó cómo las sociedades industriales más avanzadas se estratificaban de acuerdo con la competitividad económica –*performance principle*– de sus miembros (Marcuse, 1955). Jean-François Lyotard sostuvo que la era postmoderna se fundamentaba en el principio de eficiencia –*performativité*–, es decir en una relación óptima *input/output*, argumentando que los dos términos –*performance* (actuación) y *performatividad* (eficiencia medible en relaciones *input/output*)– no eran extraños entre sí: lo *performativo* realizaba la actuación óptima (Lyotard, 1979). Básicamente, el concepto de *performance* describía el comienzo de un tipo completamente nuevo de sociedad, cuya definición más conocida es la de “sociedad posindustrial” –*société post-*

industrielle (Touraine, 1969); *post-industrial society* (Bell, 1973)–, que, hoy en día, también puede describirse como sociedad de consumo, sociedad de los medios de comunicación de masas o sociedad de la información. Esta es una sociedad que ya no obedece a las leyes del capitalismo clásico, las cuales se centraban en la primacía de la producción industrial y en la omnipresencia de la lucha de clases. Esencialmente, la *performance* ejemplificó la condición posmoderna.

***Performance* y arquitectura**

El concepto de *performance* influyó también en el discurso y teorías arquitectónicas. El recurso a formas de pensamiento ajenas a la arquitectura, sin embargo, ya se puso de manifiesto en el siglo XIX, cuando los arquitectos empezaron a hacer frecuentes referencias a una nueva ciencia emergente, la biología. Algunos conceptos, como estructura y sistema, que se usaron en la biología para describir la organización de un organismo o ser vivo, empezaron a aplicarse en la arquitectura para describir cualidades similares en el edificio (analogía científica). Estos conceptos proporcionaron unos modelos de referencia que no eran visuales o estéticos. En esta transposición de conceptos entre ámbitos diversos, entre la biología y la arquitectura, el concepto de “función”, que luego constituyó un concepto clave de la arquitectura moderna, jugó un papel primordial. De hecho, la noción de función en la arquitectura cambió como resultado de la teoría evolutiva de Jean-Baptiste Lamarck, posteriormente revisitada por Charles Darwin. Al igual que un organismo era la expresión de su adaptación al entorno, el edificio debía expresar una función, o propósito, establecido por la sociedad. De esta manera, la arquitectura se apropió del término función hasta el punto de definir un “estilo funcional” o “funcionalismo”.

Tras la Segunda Guerra Mundial, las ciencias surgidas a partir del advenimiento del ordenador, como la cibernética, contribuyeron a reconfigurar el sistema conceptual de la arquitectura. El concepto de función fue reconsiderado a la luz del emergente concepto de *performance*, que dio lugar a un nuevo punto de vista centrado en el funcionamiento del edificio. Esto implicó entender el edificio como un artefacto capaz de cumplir con unos objetivos técnicos y funcionales (*performance* tecnológica). Pero no todos los arquitectos estuvieron de acuerdo con esta interpretación. Aldo Rossi y Peter Eisenman, por ejemplo, reivindicaron la importancia de la capacidad comunicativa del edificio (*performance* cultural). Finalmente, entre estas dos maneras de entender el funcionamiento del edificio, surgió otra que aunaba las cualidades visuales y físicas: “arquitectura performativa” –*performative architecture* (Kolarevic, 2003)–, que consideró que la arquitectura podía operar simultáneamente en diversos niveles, tanto a nivel subjetivo de producción de emociones, como a nivel objetivo de cumplimiento con criterios técnicos. En la arquitectura performativa, por tanto, el término *performance* abarca tanto el comportamiento físico del edificio (estructural, térmico, acústico, etc.) como su acción social, cultural, y económica. Así, al igual que el concepto de función fue asimilado por la arquitectura hasta el extremo de caracterizar una arquitectura de “estilo funcional”, el concepto de *performance* condujo a una arquitectura de “estilo performativo”, o al “performatismo” –*performatism* (Grobman & Neuman, 2011).

El modo de pensar de la ciencia se transfirió a la arquitectura no solo por medio de las ideas, sino también a través de los métodos, las técnicas y los instrumentos, es decir, en los procedimientos para llegar a la forma. En la década de 1960, de hecho, se llegó a pensar que los métodos sistemáticos de resolución de problemas y las técnicas con las que se afrontaban los problemas militares o se concebían los productos tecnológicos, es decir la metodología del diseño basado en prestaciones (DBP), podrían trasponerse a otros ámbitos, como la arquitectura. Esto implicó entender el edificio como un artefacto, es decir un producto tecnológico con unos objetivos a conseguir más que un objeto artístico dotado de significados, estéticos y culturales. Los arquitectos del movimiento moderno ya se refirieron explícitamente al edificio como una máquina, un barco o un avión. Pero el recurso a la metáfora de la máquina por parte de Le Corbusier tenía un trasfondo estético (estética de la máquina); por máquina no cabía entender tanto el artefacto, sino más bien un sistema coherente y ordenado geoméricamente. Buckminster Fuller, sin embargo, sí pensaba en el artefacto-casa en un sentido literal, de ahí la comparación con el artefacto-avión.

A partir de la consideración del edificio literalmente como un producto tecnológico, se propusieron unos métodos para derivar la forma a partir de unos requisitos funcionales. Estos métodos empleaban las técnicas de la investigación operativa para generar propuestas alternativas mediante la combinación de componentes con el fin de encontrar la combinación que mejor cumpliera con objetivos que podían cuantificarse. Sin embargo, cuando se intentó implementar estos métodos en proyectos de arquitectura, se pusieron de manifiesto sus límites. En la crítica de la arquitectura, la cuestión estético-simbólica ha sido, y sigue siendo, objeto de una reflexión que va más allá del juicio sobre la apariencia sensible-formal del edificio, hasta abarcar su condición ontológica.² A partir

² La palabra estética proviene del latín moderno *aesthetica*, y este del griego «αἰσθητική» (*aisthētikḗ*), “sensación”, “percepción”, “[conocimiento] que se adquiere por los sentidos”. Los antiguos filósofos griegos, como Platón y Aristóteles, vincularon este término con la percepción de la belleza y el influjo que ésta ejerce sobre la mente; la estética, por tanto, indagaba las relaciones entre la percepción sensible y el conocimiento. La relación entre este concepto de estética y la arquitectura es inmediata, ya que la arquitectura construye el lugar donde actúan los sentidos del ser humano. En la Época Clásica la vista era la sensación privilegiada (la belleza surgía de la armonía, el orden y la proporción que se obtenían con precisas reglas matemáticas), pero la arquitectura también puede provocar sensaciones de bienestar, admiración, identidad o pertenencia. Desde mediados del siglo XVIII, sin embargo, la estética paso a ser una disciplina filosófica autónoma que trataba de la belleza (natural y artística), la producción y los productos del arte, y el gusto. La introducción del término en su acepción moderna se debe a Alexander Gottlieb Baumgarten (*Meditationes philosophicae de nonnullis ad Poema pertinentibus*, 1735; *Aesthetica*, 1750-58). Luego, con su *Crítica del juicio* (1790), Kant contribuyó a legitimar la estética como filosofía de las bellas artes, es decir aquellas artes caracterizadas por una finalidad estética o “finalidad sin fin”. Desde entonces puede hablarse también de una estética de la arquitectura, aunque la arquitectura presenta varios aspectos en conflicto con la dimensión estética misma, ya que se encuentra inevitablemente vinculada a un propósito funcional, el del uso. Así, a pesar de que Heidegger (“El origen de la obra de arte”, 1936), Adorno (*Dialectica dell’illuminismo*, 1947) y Gadamer (*Wahrheit und Methode*, 1960) criticaron el concepto de estética vinculado a la percepción de la belleza, la “condición posmoderna”, célebre expresión de Jean-François Lyotard (Lyotard, 1979), no supuso la creación de una nueva estética de la arquitectura, sino la de un contexto en el que la arquitectura podía liberarse de los límites impuestos por la modernidad (Masiero, 1999). La estética se aplicó a la producción general de bienes llevando a la estetización general de la vida cotidiana; tal como defendió Fredric Jameson: todo lo que existe es imagen y se valora por su apariencia (Jameson, 1984). De esta forma, según Jean Baudrillard, la estética perdió su significado: “*Cuando todo se hace estético ya nada es ni bello ni feo, y el arte en sí mismo desaparece* (Baudrillard, 1991). Paralelamente, la arquitectura se hizo productora de mensajes, imágenes, artificios, y no solo de formas o construcciones,

de la década de 1960, la concepción del arte como producto de las relaciones entre signos dio lugar a una estética fundada en la comunicación. Así, no es casual que la arquitectura que surgió por esta misma época, la arquitectura posmoderna, volviese a valorar la arquitectura del pasado para dar un nuevo significado a sus símbolos, denostados por los arquitectos modernos, con el objetivo de crear una arquitectura capaz de comunicar (Jencks, 1977).

El desarrollo de nuevos métodos de diseño, así como la voluntad de automatizar el proceso creativo, declinaron definitivamente en la década de 1990, cuando el ordenador irrumpió en la praxis arquitectónica como un sistema generativo que permitía producir formas complejas y fluidas. Pero en las últimas décadas, la preocupación creciente por el medioambiente y la sostenibilidad de los procesos constructivos, llevó a los arquitectos a experimentar con nuevas maneras de trabajar, colaborando con ingenieros y otros especialistas en la revisión de los fundamentos del DBP para poder aplicarlos en el “diseño performativo” –*performative design* (Oxman, 2006), (Oxman, 2008).

Diseño y proyecto en la arquitectura

La dificultad de aplicar el diseño basado en prestaciones en la arquitectura deriva también en una cuestión semántica: un edificio no se diseña, se proyecta. El término “diseño”, tanto en inglés como en castellano, funciona como sustantivo y como verbo.³ Como sustantivo, el diseño puede referirse a un plan o dibujo que describe las características visibles de un objeto o un sistema de objetos (objetos de diseño)⁴ que posteriormente se ha de fabricar o construir. Como verbo, diseño hace referencia a la acción o actividad de desarrollo de una idea (diseñar), de tal manera que se acerca al significado de “proyecto”.

El término diseño tiene su origen en la palabra italiana *disegno*, que en el Renacimiento se empleaba indistintamente para referirse a la idea que se desarrolla en la mente del artista y su representación gráfica.⁵ En su *Trattato di architettura* (1460-64) Filarete comparaba la generación de un edificio con la concepción del ser humano, en la que el cliente sería como un padre y el arquitecto como un madre que desarrolla durante un tiempo la idea, considerando varias alternativas (*varii disegni nella sua mente*), y finalmente daría a luz a una representación del edificio (*disegno*).⁶ Asimismo, en *Le vite*

hasta el punto que el crítico Neil Leach introdujo el concepto de “an-estética” de la arquitectura en la que la seducción reemplazaba a la percepción sensorial (Leach, 1999).

³ En el *Oxford Dictionary* se define *design*: “**NOUN**:1. A plan or drawing produced to show the look and function or workings of a building, garment, or other object before it is made; 1.2 The arrangement of the features of an artefact. **VERB**: 1. Decide upon the look and functioning of (a building, garment, or other object), by making a detailed drawing of it”.

⁴ En su libro *Words and buildings: a vocabulary of modern architecture* (2000), Adrian Forty explica que el término diseño como sustantivo (*design*) se usó en Inglaterra a partir del siglo XVII tanto para indicar los dibujos del arquitecto (derivación de la palabra italiana *disegno*), como para designar una cualidad del trabajo ejecutado, para referirse a un objeto del que se puede apreciar su diseño (Forty, 2000, pág. 136).

⁵ Según el *Diccionario etimológico de la lengua castellana* (1987): “**SEÑA**, h. 1140. Del lat. **SIGNA**, plural de **SIGNUM** ‘señal, marca’, ‘insignia, bandera’. **DERIV.** Diseñar, 1535, del it. *disegnare* ‘dibujar’, y éste del lat. **DESIGNARE**, ‘marcar’, ‘designar’; **diseño**, 1580” (Corominas, 1987, pág. 531).

⁶ Filarete afirmaba: “*Il generare dello edificio si è in questa forma: che si come niuno per sé solo non può generare sanza la donna un altro, così eziandio a similitudine lo edificio per uno solo non può essere creato, e come sanza la donna non si può fare, così colui che vuole edificare bisogna che abbia l'architetto e insieme collui ingenerarlo, e poi l'architetto partorirlo e poi, partorito che l'ha, l'architetto viene a essere*”

de' più eccellenti pittori, scultori ed architettori (1568), Giorgio Vasari afirmaba: “*Perche il Disegno, padre delle tre Arti nostre, Architettura, Scultura, et Pittura, procedendo dall’Intelletto, cava di molte cose un giudizio universale, simile a una forma, o vero Idea di tutte le cose della natura. [...] E perche da questa cognitione nasce un certo concetto, et giudizio, che si forma nella mente quella tal cosa, che poi espressa con le mani si chiama Disegno; si puo conchiudere, che esso disegno altro non sia, che una aparente espressione, et dichiarazione del concetto, che si ha nell’animo, et di quello, che altri si è nella mente imaginato, e fabricato nell’Idea*” (Vasari, 1568, pág. 43 Capítulo XV). A pesar de su ambigüedad, el término *disegno* establecía una distinción clara entre los aspectos abstractos de una obra de arquitectura, y los materiales. Esta distinción ya fue introducida por Leon Battista Alberti, quien en *De Re Aedificatoria* (1450) afirmó: “*Tota res aedificatoria lineamentis et structura constituta est*” (Alberti, 1485, pág. 13 Libro I Capítulo I).⁷ A diferencia de Vitruvio, quien sostuvo que la arquitectura era el arte de construir, Alberti afirmaba que el diseño (*lineamenta*) y la construcción (*estructura*) eran dos ámbitos diferenciados de la arquitectura.

La idea de *disegno* llevaba implícita la componente de creación que caracterizó el diseño en las primeras sociedades industrializadas. El diseño moderno, según Anna Calvera, reviste una función en el proceso productivo (función diseño): “[...] *diseñar designa una fase del proceso de la cadena de producción que consiste en decidir lo que se va a hacer*” (Calvera, 2010, pág. 69). Por tanto, el diseño moderno es una consecuencia del proceso de división técnica del trabajo por el que los antiguos oficios se descomposieron en fases o tareas elementales llevadas a cabo por diferentes personas según su habilidad y conocimientos. A mediados del siglo XIX, se llamó diseñador (*designer*) a la figura especializada en el diseño (*design*), es decir aquel profesional

la madre d'esso edificio. Ma innanzi che lo partorisca, come proprio la donna che nove o sette mesi in corpo lo porta, come di sopra t'ho detto, così l'architetto debba nove o sette mesi fantasticare e pensare e rivoltarselo per la memoria in più modi, e fare varii disegni nella sua mente sopra al generamento che lui ha fatto col padrone, secondo la volontà sua. E così come la donna ancora senza l'uomo niente fa, così l'architetto è madre a portare questo ingeneramento, e secondo la sua volontà, quando l'ha bene ruminato e considerato e in molti modi pensato, debbe poi eleggere quello gli pare che sia più comodo e più bello secondo la terminazione del generante; e fatto questo, partorirlo, cioè farne uno disegno piccolo rilevato di legname, misurato e proporzionato come che ha a essere fatto poi, e mostrarlo al padre” (Filarete, 1972, pág. 41 Libro II).

⁷ Alberti usó el término latín *lineamenta* para referirse a la representación (dibujo), y a la idea (diseño). En una de las primeras traducciones al italiano (dialecto florentino), *Della architettura di Leonbatista Alberti* (1550), Cosimo Bartoli tradujo: “*Lo edificare consiste tutto in disegni, et in muramenti*”. En la edición más reciente de Giacomo Orlandi, *L'Architettura* (1966), con notas e introducción de Paolo Portoghesi, se traduce: “*L'Architettura nel suo complesso si compone del disegno e della costruzione*”. En nota al pie de página Portoghesi justificó la elección del término *disegno* del siguiente modo: “[...] *con il termine lineamenta l'Alberti intende qualcosa di meno ampio e più specifico dell'italiano 'disegno'. Tuttavia, traducendo 'progetto' e 'progettare', si altererebbe in qualche punto il senso del testo*”. El italiano, de hecho, no dispone de dos palabras para distinguir entre diseño y dibujo; el sentido actual del término *disegno* no lleva implícita la componente de creación, se refiere exclusivamente a unos dibujos. La dificultad de traducir el texto de Alberti se hizo manifiesta también en otros idiomas. En *The Ten Books of Architecture* (1726) Giacomo Leoni tradujo *lineamentis* al inglés como *design*. En la traducción más reciente, *On the Art of Building in Ten Books* (1988), Joseph Rykwert, Neil Leach y Robert Tavernor transliteraron *lineamentis* al inglés: “[...] *the whole matter of building is composed of lineaments and structure*”. De esta manera, evitaron utilizar el término *design* que adquirió a lo largo del siglo XX otro significado (proceso abstracto desvinculado de la representación gráfica) que no refleja el pensamiento de Alberti.

competente desde el punto de vista técnico y estético que desempeñaba la tarea de dar forma a los bienes producidos industrialmente.⁸ El diseño incorporó una función estética (factor diseño), ya que los productos industriales, especialmente muebles y objetos del hogar, debían competir con los productos de la artesanía.⁹ La defensa del diseño como práctica estética estuvo también en la base del movimiento *Arts and Crafts* (1861-1914), surgido en Inglaterra a raíz de las críticas de John Ruskin y William Morris a la industrialización y al capitalismo, que tenían como objetivo separar el diseño de la producción industrial para convertirlo en un arte autónomo. Esta concepción del diseño como arte fue adoptada posteriormente por la *Bauhaus* (1919-1933), cuyos productos contribuyeron al desarrollo de una estética racionalista.¹⁰

En la década de 1960, sin embargo, el diseño dejó de ser considerado como un arte. La *Hochschule für Gestaltung* (1953-1968) en Ulm, tuvo por objetivo convertir el diseño en una profesión. Para ello, se aplicaron procedimientos matemáticos, principios de la investigación de operaciones y la ergonomía como “métodos de diseño”, para conferir al diseño un fundamento científico. Básicamente, se buscó legitimar el diseño como una ciencia excluyendo las connotaciones estéticas. El diseño pasó así a entenderse como el proceso sistemático y racional que precede a la realización de todas las cosas, tanto materiales como inmateriales, que forman parte de nuestra cultura. Es más, se planteó que el diseño pudiera ser objeto de estudio científico dando lugar a una “ciencia del diseño” (Simon, 1969). Para describir esta idea de diseño que se difundió sobre todo en los países más industrializados, como el Reino Unido y los Estados Unidos, se propusieron diversas definiciones: “*Finding the right physical components of a physical structure*” (Alexander, 1963); “*A goal-directed problem-solving activity*” (Archer, 1965); “*Decision making, in the face of uncertainty, with high penalties for error*” (Asimow, 1962); “[...] *the initiation of change in man-made things*” (Jones, 1970). Pese a su pluralidad, estas definiciones de diseño presentaban un rasgo común: ninguna de ellas

⁸ Aunque el diseño llegó a consolidarse como profesión a mediados del siglo XIX, el término *designer* ya se usaba en las primeras fases de la revolución industrial (XVII-XVIII) para definir a dibujantes, generalmente artistas, pintores y escultores, que trabajaban en la producción de objetos de lujo. En su tesis doctoral *El diseño de producto en el siglo XX* (2015), Isabel Campi Valls sostiene que: “El término inglés *designer* apareció por primera vez en el *Shorter Oxford Dictionary* de 1662 como ‘aquel que realiza dibujos o motivos (*patterns*) para el fabricante o constructor’. Por el contrario, en Francia no apareció nunca un término tan específico y en la *Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* de d’Alembert y Diderot, los términos *dessein* y *dessinateur* se describen y se ilustran en relación a la pintura y la arquitectura de acuerdo con la tradición académica” (Campi Valls, 2015, pág. 53). Trabajar por una fábrica, sin embargo, no figuraba entre los intereses de los artistas. Este fue uno de los motivos que llevaron a Henry Cole a defender, en la década de 1850, una nueva profesión, el diseñador, que no debía necesariamente ser desempeñada por un artista.

⁹ Según Anna Calvera el factor diseño surge de la necesidad de distinguir a las mercancías confiriéndoles un valor añadido, un aspecto artístico. Esta noción de diseño como cualidad implica que: “[...] *no todo lo que se diseñaba podía ser considerado diseño*” (Calvera, 2010, pág. 74). El factor diseño, de hecho, denota un determinado modo de ser de productos y bienes no solo destinados al sector del lujo, sino también dirigidos al consumo masivo, que en España se denominan “objetos de diseño”.

¹⁰ La noción de diseño como arte, como producción de objetos con valor cultural, es esencialmente europea. Muy distintas fueron las premisas que dieron pie al surgimiento del diseño como profesión en los Estados Unidos. Los pioneros del diseño en ese país no fueron artesanos (*Arts and Crafts*) o arquitectos (*Bauhaus*), sino más bien profesionales que trabajaban en el mundo de la publicidad, que buscaron aumentar el atractivo de productos (factor diseño) de las industria mecánica y electrónica para aumentar sus ventas durante la recesión económica que comenzó alrededor de 1929.

mencionaba el dibujo. El diseño, de hecho, se describía como un proceso que no implicaba necesariamente la representación gráfica; un proceso que se limitaba al análisis y la estructuración de objetivos que deben formularse para poder tomar decisiones.¹¹

Esta idea de diseño como proceso abstracto, que subyace a la metodología del diseño basado en prestaciones (DBP), no es asimilable al proyecto de un edificio. En su sentido amplio, el proyecto es la prefiguración del edificio antes de su construcción y existe desde los orígenes de la arquitectura, aunque se ha denominado de esta manera solo en la época moderna, sustituyendo el uso de otros términos más antiguos, como *disegno* o composición. En su texto *El proyecto de arquitectura* (2008), Alfonso Muñoz Cosme sostiene que las voces “proyecto” y “proyectar” empezaron a usarse en España a finales del siglo XVII o comienzos del siglo XVIII, coincidiendo con la llegada de la dinastía borbónica.¹² El término *progetto* se difundió en Italia a comienzo del siglo XIX, mientras que la palabra *project* se empleaba en Inglaterra ya en el siglo XV, pero con sentido arquitectónico solo desde el siglo XVII. El término “proyectar” proviene del francés *projecter*, que a su vez deriva del latín *proiectare*, que significa arrojar, dirigir hacia adelante, adelantar; el término “proyecto” deriva del francés *projet*, del latín *proiectus* (proyectado).¹³ Por su etimología, la palabra proyecto expresa la intención de transformar una realidad, realizar algo o llevar a cabo un deseo (impulsarse hacia el futuro).

En la arquitectura del Renacimiento, la noción de proyecto estaba implícita en el concepto de *disegno*, que reunía la idea y su representación. En la Ilustración el término francés *projet* comenzó a usarse para indicar el conjunto de dibujos que servían para explicar cómo construir un edificio.¹⁴ El proceso que llevaba a la definición del proyecto

¹¹ Tal como explica Dagmar Rinker: “En los primeros años de la HfG Ulm se evitó utilizar el término ‘diseñador’ en el texto alemán de las publicaciones oficiales de la HfG Ulm. De modo análogo al nombre de la institución, ‘Hochschule für Gestaltung’, se escogió el concepto de ‘Gestalter’, que sin embargo fue traducido como ‘designer’ en los textos ingleses impresos paralelamente. ‘Gestaltung’ tiene su origen en la teoría de la Gestalt, que tuvo sus comienzos ya en el siglo XIX. El término hace referencia a una dimensión activa en el sentido de un proceso de trabajo; la palabra ‘diseño’, por otro lado, es un sustantivo que se refiere a un dibujo o a un plano” (Rinker, 2006).

¹² Alfonso Muñoz Cosme afirma que: “El término ‘proyecto’ es, por tanto, relativamente reciente en nuestra lengua, ya que cuenta solo con tres siglos de existencia. Sebastián de Covarrubias en su *Tesoro de la lengua castellana o española*, publicado en 1611, no recoge los términos ‘proyecto’ ni ‘proyectar’. En el *Diccionario de autoridades*, publicado en Madrid en 1737, se define ‘proyectar’ como ‘disponer o proponer el proyecto para el ajuste o disposición de alguna cosa’, pero se advierte: ‘Es voz modernamente introducida.’ Por otra parte, se define la voz ‘proyecto’ como ‘planta y disposición que se forma para algún tratado, o para la ejecución de alguna cosa de importancia, anotando y extendiendo todas las circunstancias principales que deben concurrir para el logro de ello” (Muñoz Cosme, 2008, pág. 17). Luego, en una nota añade: “El *Diccionario castellano de Esteban de Terreros y Pando*, publicado en Madrid en 1788, define ‘proyectar’ como ‘idear, maquinar alguna cosa, pensarla’; y ‘proyecto’ como ‘designio o disposición que se da o idea para alguna cosa’. El *Diccionario de las nobles artes de Diego Antonio Rejón y Silva*, del mismo año de 1788, no registra esas palabras, aunque sí ‘proyección’ como término del dibujo” (Muñoz Cosme, 2008, pág. 17).

¹³ Según el *Diccionario etimológico de la lengua castellana* (1987): “Proyectar, fin siglo XVII, lat. *proiectare* frecuentativo de *proiicere* ‘echar adelante’, ‘proyectar’: proyecto, 1737; proyección, 1884, lat. *proiectio*, ‘acción de echar adelante o a lo lejos” (Corominas, 1987, pág. 22). Según el *Diccionario de la lengua española* elaborado por la Real Academia Española (RAE), el término proyecto proviene: “Del lat. *proiectus* ‘proyectado’”. En el *Dizionario de la lingua italiana*, Garzanti (2001): “*Progettare*: dal francese *projeter*, che è dal lat. *proiectāre*, intensivo di *proicēre* ‘gettare oltre, fare avanzare’. [...] *Progetto*: dal francese: *projet*, deriv. di *projeter*”.

¹⁴ En *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* (1751-1772) de Diderot y d’Alembert, se registra: “*PROJET, (Architecture)* c’est une esquisse de la distribution d’un bâtiment,

se denominaba “composición”. De hecho, en *Précis des leçons d’architecture* (1802-5), Durand describía en detalle “*la composition d’un projet*”, como el proceso de combinación de elementos en base a determinadas reglas que daba lugar al proyecto. El proyecto como documento transmisible que recoge los planos y dibujos para la construcción de una obra, alcanzó en el siglo XX una organización muy estricta.¹⁵ Entre tanto, el término proyecto empezó a usarse para indicar también el proceso que lleva a este documento final.¹⁶ En el *Dizionario enciclopedico di architettura e urbanistica* (1968), dirigido por Paolo Portoghesi, se define proyecto (*progetto*): “*In senso generale il progetto é l’insieme processuale degli atti e dei fatti necessari a prefigurare un oggetto e a predisporre la produzione*” (Portoghesi, 1968). En el libro *Progettare un edificio. Otto lezioni di architettura* (1977), Ludovico Quaroni afirmaba: “*Il processo progettuale deve consistere in una successione d’operazioni, alcune delle quali dovranno [...] avvenire all’interno del campo razionale delle capacità cerebrali, mentre altre dovranno avvenire [...] in campi di maggiore o minore razionalità*” (Quaroni, 1977, págs. 36-37). En ambas definiciones, el proyecto se entiende como un conjunto de acciones u operaciones que se realizan a lo largo de un curso temporal (*progettazione*), y que se engloban en lo que puede definirse “proceso de proyecto”.¹⁷ Estas operaciones contemplan la realización de dibujos u otras formas de representación, análisis o cálculos, que sirven al arquitecto para tomar decisiones con el fin de dar forma a un edificio, a la vez que le permiten transmitir información al cliente o interactuar con otros profesionales. Finalmente, todo este proceso queda plasmado en un documento de prefiguración del edificio que deja fuera algunos materiales que han servido de instrumento de trabajo, es decir para su concepción.

En definitiva, el concepto moderno de proyecto en arquitectura reúne la concepción (idea), definición (proceso) y transmisión (documento) de la información sobre un edificio que debe construirse. Muñoz Cosme señala que: “[...] *cuando pronunciamos la palabra ‘proyecto’ nos podemos estar refiriendo tanto a una idea o un deseo, como al proceso y a la serie de operaciones necesarias para definirlos y convertirlos en realidad, o al conjunto de documentos que permitirá transmitirlos y materializarlos. Todas estas acepciones son complementarias y están en la base del*

établie sur l’intention de la personne qui désire faire bâtir. C’est aussi un mémoire en gros de la dépense à laquelle peut monter la construction de ce bâtiment, pour prendre ses résolutions suivant le lieu, les tems & les moyens”. No es casualidad que *projet* sea también la raíz de la palabra *projections* (proyecciones), fundamento de la geometría descriptiva de Gaspard Monge (*Géométrie descriptive*, 1798).

¹⁵ Según la Ley de Ordenación de la Edificación (1999), el proyecto es: “*el conjunto de documentos mediante los cuales se definen u determinan las exigencias técnicas de las obras*” y debe “*justificar técnicamente las soluciones propuestas de acuerdo con las especificaciones requeridas por la normativa técnica aplicable*”. Según el CTE (Código Técnico de la Edificación) las partes del proyecto son la memoria, los planos, el pliego de condiciones, las mediciones y el presupuesto.

¹⁶ En la actualidad el *Diccionario de la lengua española* (RAE) define proyecto, entre otras acepciones, como: “*2. Planta y disposición que se forma para la realización de un tratado, o para la ejecución de algo de importancia. 3. Designio o pensamiento de ejecutar algo. 4. Conjunto de escritos, cálculos y dibujos que se hacen para dar idea de cómo ha de ser y lo que ha de costar una obra de arquitectura o de ingeniería*”. Proyectar se describe como: “*2. Idear, trazar o proponer el plan y los medios para la ejecución de algo. 3. Hacer un proyecto de arquitectura o ingeniería*”.

¹⁷ La palabra “proyección” deriva del italiano y, aunque se usa en la jerga de los arquitectos, no está contemplada en el diccionario.

concepto moderno de proyecto” (Muñoz Cosme, 2008, pág. 17). El proyecto implica que un edificio solo puede hacerse realidad por medio de un proceso de desarrollo que acaba con un documento que se distribuye entre quienes lo van a construir. El término diseño, por tanto, no puede usarse como sinónimo de proyecto. Mientras que el diseño se refiere al pensamiento o actividad previa a la representación de un objeto, el proyecto de un edificio conlleva un desarrollo a lo largo del tiempo vinculado a la representación gráfica. El diseño, por tanto, constituiría solo una fase en el proceso de proyecto, ya que no abarca toda su extensión temporal y complejidad. Algunos de los problemas que surgen al intentar aplicar la metodología del diseño basado en prestaciones (DBP) al proyecto de edificios tienen que ver con las diferencias entre los términos “proyecto” y “diseño”.

2. Objetivo de la investigación

En esta tesis se hace un análisis razonado del recorrido que ha seguido el diseño basado en prestaciones (DBP) hasta llegar a considerarse como una metodología aplicable al diseño de edificios energéticamente eficientes. En el curso de este análisis, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuáles son las limitaciones y posibilidades de la aplicación del DBP en el proyecto de arquitectura?
- ¿Puede el DBP contribuir a crear edificios energéticamente más eficientes?

Para responder a la primera pregunta, se han indagado los orígenes del DBP, su genealogía. A continuación, se han investigado los problemas derivados de la aplicación del DBP en la arquitectura y cómo se han intentado solucionar mediante la utilización de herramientas que permiten evaluar un edificio desde una perspectiva holística. Para responder a la segunda pregunta se ha llevado a cabo un caso de estudio con un proyecto de un edificio de viviendas sociales construido en Cerdanyola del Vallès (Barcelona). Se ha analizado en primer lugar el proceso de toma de decisiones seguido por el equipo del proyecto, para a continuación plantear un proyecto alternativo siguiendo la metodología del DBP y poder así comparar ambos procesos proyectuales y sus resultados.

3. Ámbito de la investigación

La situación actual respecto a la implementación del DBP en el proyecto de arquitectura.

El DBP comienza con la definición de los requisitos de prestaciones que un edificio debe cumplir, y sigue con una serie de decisiones que se toman en función de su previsible funcionamiento, para asegurar su cumplimiento. Por definición, el DBP es: “[...] *the practice of thinking and working in terms of ends rather than means. [...] It is concerned with what a building or building product is required to do, and not with prescribing how it is to be constructed*” (Gibson, 1982). Así, el DBP implica un salto temporal que apunta no solo a definir los resultados deseables en el edificio en uso, sino también a averiguar si un proyecto –antes de ser construido– garantiza su cumplimiento (Figura 4). La simulación incrementa considerablemente la posibilidad de analizar el impacto de las

decisiones proyectuales, detectar y corregir sus consecuencias. Básicamente, la simulación permite resolver el dilema de cómo validar el funcionamiento de un artefacto que todavía no se ha construido.

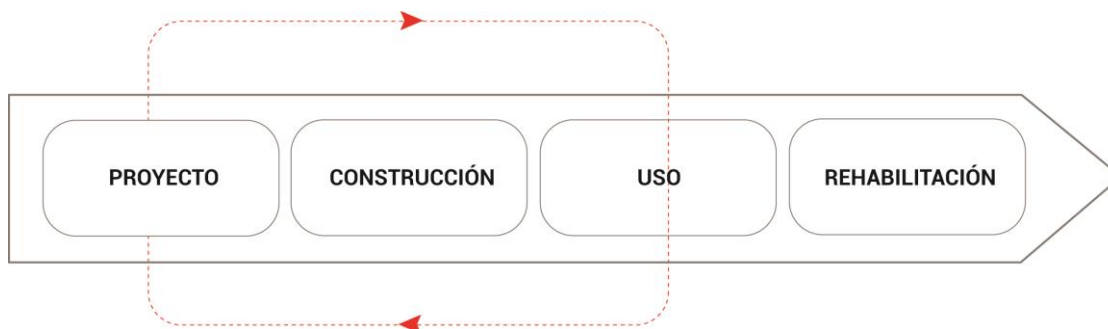


Figura 4. El proyecto en el ciclo de vida del edificio. Fuente: Gráfico de elaboración propia.

El proyecto de un edificio se describe comúnmente como un proceso por etapas (por ejemplo, anteproyecto, proyecto básico y proyecto ejecutivo), en el que se pasa de una visión esquemática del edificio a otra cada vez más detallada.¹⁸ En las primeras etapas (anteproyecto) existe una gran libertad de acción y flexibilidad en la toma de decisiones, pero un escaso conocimiento sobre la forma definitiva que adoptará el edificio. Al contrario, en una fase más avanzada (proyecto ejecutivo), el proyecto está mucho más definido, pero se reduce el campo de influencia y el impacto de las decisiones proyectuales. De esta forma se llega a una situación paradójica: *“The more you learn the less freedom you have to use what you know”* (Ullman, 1992, pág. 20). En otras palabras, la mayoría de decisiones se concentran en la fase inicial cuando no hay un conocimiento en profundidad sobre el proyecto, y cuando finalmente se tiene, disminuye la posibilidad de cambiarlo (Figura 5). Por ello, David Ullman concluye: *“Thus, the goal during the design process is to learn as much about the evolving product as early as possible in the design process because during the early phases changes are least expensive”* (Ullman, 1992, pág. 20).

¹⁸ El RIBA (*Royal Institute of British Architects*) contempla tres etapas en el desarrollo de un proyecto: conceptual, desarrollo y detalle (RIBA, 1963). En España el proceso de proyecto igualmente se describe en base a tres etapas: anteproyecto, proyecto básico y proyecto ejecutivo (Real Decreto 2512/1977, de 17 de junio). En este Real Decreto se define el anteproyecto como la fase del trabajo en la que se exponen las características generales de la obra al objeto de proporcionar una primera imagen general de la misma y facilitar un avance de presupuesto (punto 1.4.2). El proyecto básico es suficiente para solicitar la licencia de obra porque contiene los documentos y soluciones concretas para definir la obra proyectada y, en consecuencia, poder valorar si cumple con la legalidad urbanística (punto 1.4.3), pero es insuficiente para llevar a cabo la construcción. El proyecto ejecutivo desarrolla el proyecto básico con documentos técnicos (cálculo de estructura, instalaciones, control de calidad, seguridad y salud, eficiencia energética, etc.) y sirve para obtener la autorización para ejecutar las obras.

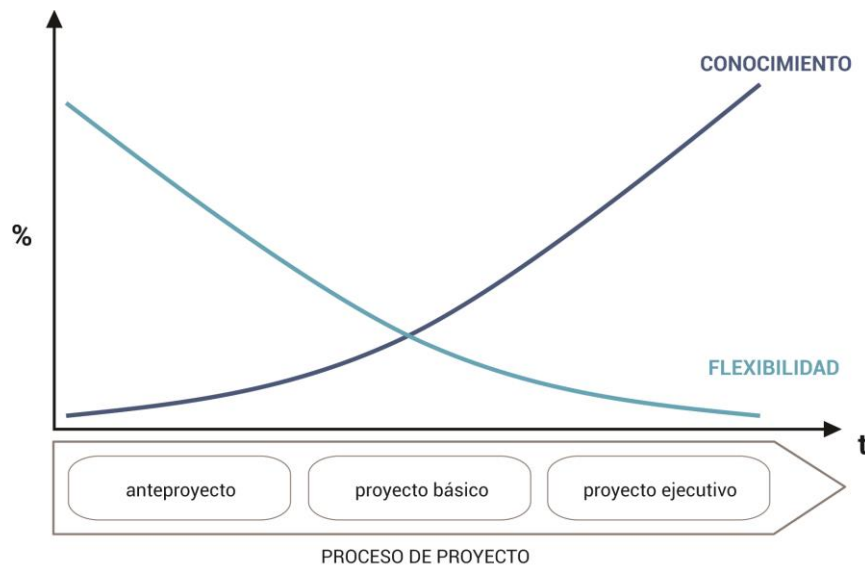


Figura 5. La paradoja del proyecto: tendencias opuestas del conocimiento sobre el proyecto y la flexibilidad de cambios a lo largo del proceso de proyecto. Fuente: Gráfico de elaboración propia a partir del diagrama “The design process paradox” de David Ullman (Ullman, 1992).

El DBP intenta afrontar esta paradoja del proyecto, es decir que durante las primeras fases se toman decisiones que afectan a todo el desarrollo del proyecto sin una base factual, y que luego es difícil rectificar. Hasta el siglo pasado, sin embargo, la mayoría de las herramientas de cálculo del rendimiento del edificio disponibles en el mercado, ya sea para el cálculo estructural, lumínico, acústico o térmico, producían información cuantitativa, requerían un conocimiento especializado y necesitaban una descripción detallada de un edificio (materiales, sistema constructivo, etc.), por lo que solo podían aplicarse en una fase avanzada del proyecto. Los avances en las técnicas de simulación han permitido sobrepasar los límites de estos primeros métodos de cálculo, facilitando el desarrollo de herramientas que pueden aplicarse desde la fase de concepción. Sin embargo, el proyecto no es un proceso lineal, en el que desde una decisión alcanzada en una fase de desarrollo se procede sin retroceder, sino un proceso iterativo en el que continuamente se avanza para comprobar las decisiones y se retrocede para cambiarlas o desecharlas. Por tanto, el DBP conlleva un proceso de toma de decisiones que se repite a lo largo de las etapas de desarrollo del proyecto, implicando el uso de diversas herramientas de simulación en función de la información que se procesa en cada una de ellas. Esto dificulta la aplicación del DBP, ya que supone una considerable inversión de tiempo y recursos. De hecho, diversos estudios muestran que en el ámbito del proyecto de edificios energéticamente eficientes se siguen utilizando las herramientas de simulación energética solo al final del proyecto para verificar el cumplimiento de la normativa, en lugar que informar el proceso de toma de decisiones en fases iniciales (Hopfe & Hensen, 2009; Hensen, 2011).

Sin embargo, la simulación es solo un aspecto de la metodología del DBP que puede ayudar a hacer más explícitas las razones por las que se elige una opción u otra para conseguir objetivos determinados. Previamente, sin embargo, hay que explicitar estos objetivos. La simulación es una herramienta potente, que puede producir información útil sobre el proyecto, siempre que disponga de la información adecuada

sobre el mismo. De hecho, una simulación hecha a partir de datos erróneos, es errónea. Estas dificultades surgen de la falta de información para apoyar aquellos aspectos del proceso donde entran en juego la experiencia y conocimiento del arquitecto, y se magnifican aún más en el campo de la eficiencia energética, donde no existe un cuerpo de conocimientos consolidado sobre el comportamiento energético de los edificios. Aquí, los valores de referencia (*benchmarks*) extrapolados de edificios que hayan demostrado ser energéticamente eficientes son esenciales para definir los objetivos específicos de un proyecto o para comprobar si los datos de la simulación son fiables. Los datos sobre las prestaciones energéticas de los edificios provienen principalmente de las certificaciones energéticas y de la monitorización del consumo real del edificio, pero se encuentran dispersos en diversas fuentes, lo que dificulta la posibilidad de extraer información útil para un proyecto.

Esta tesis se propone abordar algunos problemas de implementación del DBP en el ámbito de la mejora de la eficiencia energética de los edificios, proponiendo estrategias proyectuales que exploten el potencial de las herramientas de simulación y de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) existentes. Estas estrategias abarcan la integración de herramientas de simulación energética BEM (*Building Energy Modelling*) con modelos BIM (*Building Information Modelling*) para reducir tiempos y costes derivados de la realización de modelos de análisis diferenciados. Para mejorar el conocimiento previo del arquitecto, se recurre al sistema SEÍS –desarrollado por el grupo de investigación ARC Ingeniería y Arquitectura La Salle, en el marco del proyecto de investigación RÉPENER– que contiene datos energéticos provenientes de diferentes fuentes (certificaciones energéticas, simulación, monitorización), y facilita información energética cualificada a diferentes tipos de usuarios –arquitectos e ingenieros, consultores energéticos, administraciones públicas a cargo de certificados energéticos, propietarios de edificios y gestores de instalaciones–, con el fin de mejorar los procesos de toma de decisiones en sus respectivas áreas de actuación, desde el proyecto hasta la construcción y rehabilitación. En la fase de proyecto de un edificio, SEÍS permite acceder a información sobre las características de diseño (compacidad, orientación, transmitancia de la envolvente, etc.) de edificios similares que destacan por su eficiencia energética, y que pueden servir de referencia (*benchmarks*) para el proyecto. En definitiva, por medio de esta tesis se intenta mostrar que el uso estratégico de herramientas de simulación energética, junto a la información facilitada por el sistema SEÍS, puede contribuir a que el DBP sea una herramienta eficaz para mejorar la eficiencia de los edificios.

4. Justificación y pertinencia del tema propuesto

En España, como en otros países del mundo occidental, la demanda de mejora en la calidad de los edificios en lo referente al uso y la exigencia de sostenibilidad en los procesos constructivos, en su dimensión ambiental, social y económica, ha llevado a un cambio en la manera de concebir y evaluar los edificios, que se alinea con los objetivos que persigue el diseño basado en prestaciones. Esta tesis introduce en el ámbito de la cultura española una metodología del diseño, el diseño basado en prestaciones, surgido y desarrollado fundamentalmente en la cultura anglosajona.

El interés en los principios que fundamentan el diseño basado en prestaciones se refleja en el cambio del marco normativo de la edificación, antes meramente prescriptivo (criterios, guías técnicas y soluciones determinadas) y ahora basado en las prestaciones del edificio. Este cambio normativo ha sido impulsado por las principales organizaciones internacionales en los códigos de edificación: *Centre for Energy Policy and Economics* (CEPE), *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (CIB), *Inter-jurisdictional Regulatory Collaboration Committee* (IRCC). En España, estos cambios han entrado en vigor con el Código Técnico de la Edificación (CTE) en 2006. El CTE establece los requisitos que deben cumplir los edificios en relación con la seguridad estructural y la protección contra incendios, la salubridad, la protección contra el ruido y el ahorro energético. Este cambio normativo representa un reto para la innovación y el desarrollo. De hecho, se plantea la posibilidad de adoptar soluciones constructivas alternativas a las que contempla la normativa, con la condición de que se justifique el cumplimiento de los requisitos de las prestaciones establecidos. Por ello, el CTE ha reconocido la simulación como instrumento válido para la justificación de sus documentos básicos: programas como LIDER o CALENER constituyen hoy en día herramientas de trabajo para los profesionales que, de forma obligatoria, deben justificar el cumplimiento de los requisitos energéticos (DB HE 1: Limitación de la demanda energética).

En definitiva, la normativa española busca mejorar la calidad de la edificación y promover la innovación por medio de actuaciones que se alinean con los objetivos del DBP. Muchos profesionales, por tanto, están familiarizados con diversos conceptos vinculados al DBP, pero ignoran su origen, expectativas, potencial y limitaciones. Asimismo, se desconoce la posibilidad de utilizar programas de simulación como herramientas de apoyo a la toma de decisiones, más que de únicamente de verificación, y cómo hacer uso de la información energética distribuida en diversas fuentes y repositorios. Uno de los objetivos de esta tesis es contribuir a llenar el hueco que se ha generado entre el contexto político-normativo y cultural, por un lado, y la práctica profesional, por el otro.

5. Metodología de la investigación

La investigación se ha llevado a cabo a lo largo de tres líneas interrelacionadas que abarcan tareas documentales y experimentales:

- análisis del concepto de diseño implícito en el diseño basado en prestaciones;
- análisis de las implicaciones del diseño basado en prestaciones en la arquitectura y en el proyecto de arquitectura;
- aplicación del diseño basado en prestaciones a un caso de estudio, con el fin de verificar su validez en el ámbito de la mejora de las prestaciones energéticas.

El trabajo de investigación se estructura en cuatro secciones temáticas que progresan desde lo general a lo específico (Figura 6).

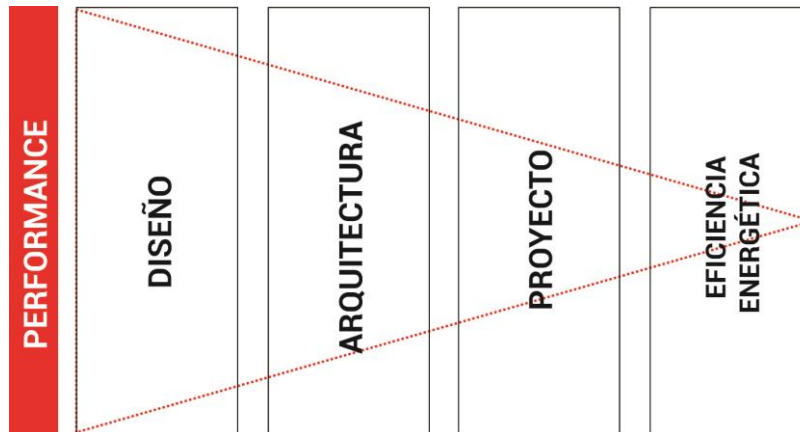


Figura 6. Estructura de la investigación. Fuente: Gráfico de elaboración propia.

Caso de estudio

Para verificar cómo el DBP puede servir en el proyecto de arquitectura, especialmente en el ámbito de la mejora de la eficiencia energética de los edificios, se ha tomado como caso de estudio el proyecto de un edificio de viviendas sociales recientemente construido en Cerdanyola del Vallès (Barcelona) (Figura 7). Este edificio se ha utilizado como caso de estudio en diversos proyectos de investigación llevados a cabo por el grupo ARC Ingeniería y Arquitectura La Salle, Barcelona, por lo que se disponía de una gran cantidad de información y datos acerca del mismo. Pero la razón principal para seleccionarlo como caso de estudio es que el edificio fue proyectado para alcanzar los estándares más altos de eficiencia energética y se encuentra actualmente en la fase operativa, que está siendo monitorizada. Estas características específicas del edificio permitieron plantear el caso de estudio en base a un análisis comparado entre el proceso proyectual “convencional” que llevó a la realización del edificio, el cual no contempló el uso de la simulación energética durante el proyecto, y un proceso “alternativo”, en el que la autora de esta tesis ha asumido el papel de un equipo de diseño que utiliza herramientas de simulación para implementar la metodología del DBP. De la comparación del proceso de proyecto convencional con el proceso de proyecto alternativo se han extraído unas conclusiones que permiten argumentar y confirmar los beneficios de la implementación del diseño basado en prestaciones en el proyecto de edificios energéticamente eficientes. Asimismo, se han podido comparar los datos de la simulación producidos durante el proceso con los datos de monitorización del edificio, de manera que se pudo verificar su consistencia.



Figura 7. Relación entre teoría y experimento. Fuente: Gráfico de elaboración propia.

A lo largo del proceso de proyecto recreado en el caso de estudio se han usado diversas herramientas de simulación energética (Autodesk Vasari, Autodesk Ecotect, DesignBuilder). Francesc Bardera Collazos ha colaborado en este proceso realizando simulaciones térmicas del edificio con EnergyPlus a partir de un modelo paramétrico realizado con Grasshopper (Rhinoceros), mientras que Michelle Sánchez de León ha realizado las simulaciones energéticas con DesignBuilder.

6. Estructura de la tesis

El trabajo desarrollado en esta tesis se estructura en cuatro capítulos en los que se aborda el diseño basado en prestaciones, desde sus orígenes hasta su implementación en el proyecto de arquitectura (Figura 8).

Capítulo 1. Genealogía del diseño basado en prestaciones. Este capítulo es una introducción al diseño basado en prestaciones, su origen y evolución. Se divide en tres secciones en las que se define el marco teórico general que ha llevado al desarrollo del diseño basado en prestaciones (ciencia militar, ciencia de sistemas y ciencia de lo artificial), se analiza la idea de diseño implícita en esta metodología y se describen sus expectativas, logros y límites.

Capítulo 2. El concepto de performance en la arquitectura: la forma y el proceso generativo de la forma. En este capítulo se describe el diseño basado en prestaciones desde el punto de vista de la arquitectura. El capítulo se divide en dos secciones: teoría de la forma y métodos de diseño. En la primera sección se analizan los cambios que han tenido lugar en la teoría de la forma al reemplazar el concepto de función por el de *performance*, ambos provenientes de disciplinas científicas ajenas al campo de la arquitectura. En la segunda parte se describen los cambios en el proceso generativo de la forma, a raíz de la introducción de la metodología del diseño basado en prestaciones en la arquitectura.

Capítulo 3. Diseño performativo: implementación del diseño basado en prestaciones en el proyecto de arquitectura. Se analiza el uso de las tecnologías existentes para aplicar la metodología del diseño basado en prestaciones en el proyecto de arquitectura. Este capítulo incluye un compendio de proyectos experimentales en los que se han aplicado sistemas generativos siguiendo los principios del diseño basado en prestaciones.

Capítulo 4. Caso de estudio: estrategias proyectuales para mejorar la eficiencia energética de un edificio de viviendas en Cerdanyola del Vallès. Este capítulo está dedicado a la implementación del diseño basado en prestaciones en el ámbito del proyecto de edificios energéticamente eficientes. El caso de estudio de un edificio de viviendas plurifamiliares ha servido para proponer y verificar estrategias para aplicar la metodología DBP en el proyecto de edificios energéticamente eficientes, utilizando las tecnologías existentes.

Capítulo 5. Conclusiones. Finalmente se presentan los resultados en relación al objetivo de la tesis, las respuestas a las preguntas de investigación, limitaciones de la investigación y sugerencias para futuras investigaciones.

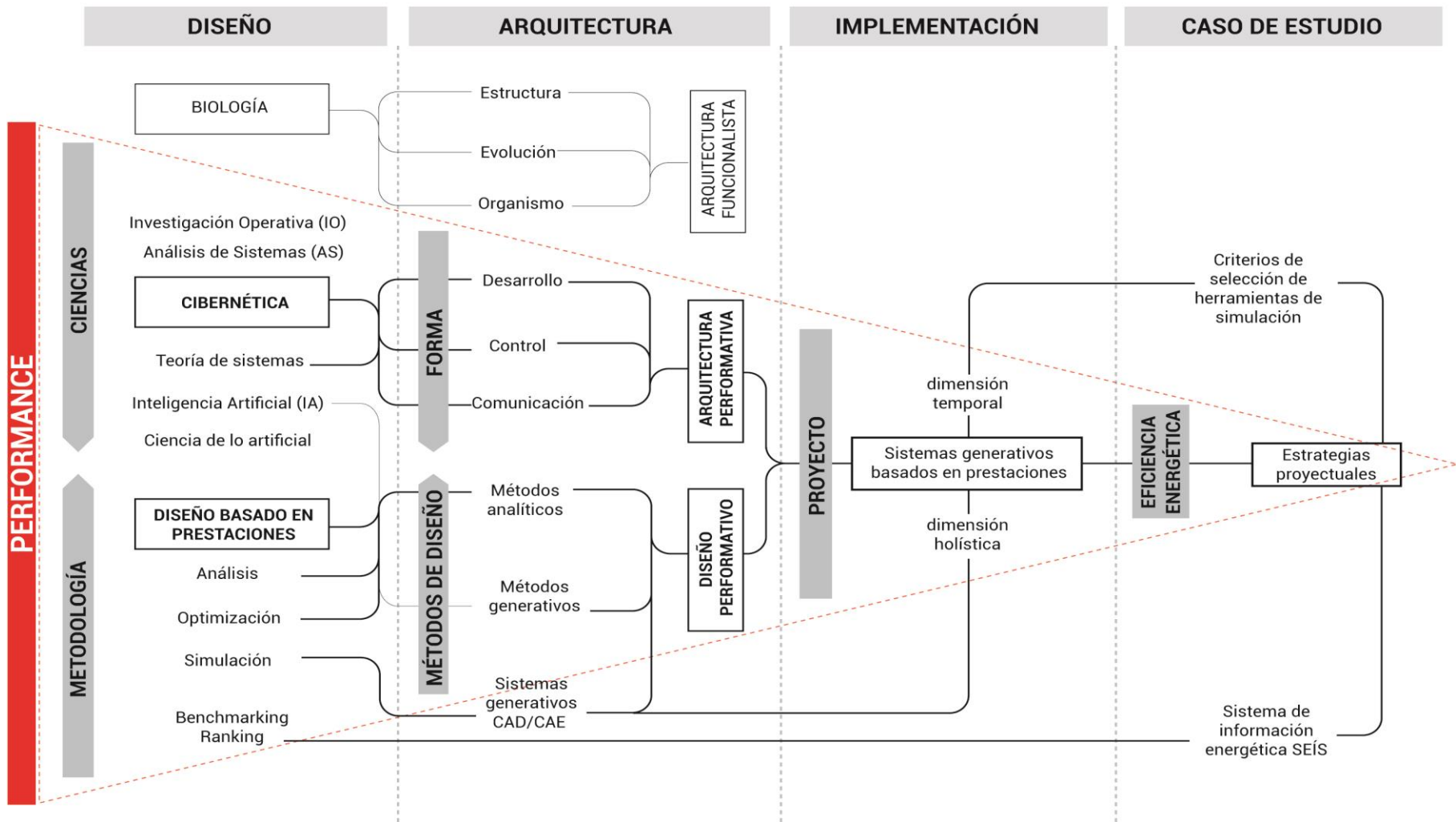


Figura 8. Esquema de la tesis. Fuente: Gráfico de elaboración propia

Bibliografía

- Alberti, L. B. (1485). *De Re Aedificatoria*. Firenze: Nicolaus Laurentii Alamanus.
- Alexander, C. (1963). The determination of components for an Indian village. En J. C. Jones, & Thornley, *Conference on Design Methods*. Oxford: Pergamon Press.
- Archer, B. (1965). *Systematic Method for Designers*. London: Council of Industrial Design.
- Asimow, M. (1962). *Introduction to Design*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Austin, J. L. (1962). *How to Do Things with Words. The William James Lectures Delivered at Harvard University in 1955*. London: Oxford University Press.
- Bateson, G. (1955). A theory of play and fantasy. *Psychiatric research reports*, 177-178.
- Baudrillard, J. (1991). *La Transparencia del mal. Ensayo sobre los fenómenos extremos*. Barcelona: Anagrama.
- Beidbeder, F. (1988). *New Polytechnic Dictionary of Spanish and English Language*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos.
- Bell, D. (1973). *The Coming of Post-Industrial Society. A Venture in Social Forecasting*. New York: Basic Books.
- Buckminster Fuller, R. (1978). Bucky Fuller, Three Years On: How to make Humanity a Success. Interview with Buckminster Fuller by Gianni Pettena. *Domus*(582).
- Calvera, A. (2010). Cuestiones de fondo: la hipótesis de los tres orígenes del diseño. En I. Campi, *Diseño e historia. Tiempo, lugar y discurso* (págs. 63-86). México DF: Designio.
- Campi Valls, I. (2015). *El diseño de producto en el siglo XX*. (Ph.D. dissertation). Universitat de Barcelona, Facultat de Belles Arts Sant Jordi.
- Carlson, M. (1996). *Performance: a critical introduction*. New York: Routledge.
- Collazo, J. (1980). *Diccionario Enciclopédico de Términos Técnicos*. New York: McGraw-Hill.
- Corominas, J. (1987). *Breve diccionario etimológico de la lengua castellana*. Madrid: Gredos.
- Filarete. (1972). *Trattato di architettura*. Milano: Il Polifilo.
- Forty, A. (2000). *Words and buildings: a vocabulary of modern architecture*. London: Thames and Hudson.
- Gibson, E. (1982). *Working with the performance Approach in Building-CIB State of the Art Report n. 64*. Rotterdam: CIB.
- Goffman, E. (1959). *The Presentation of Self in Everyday Life*. New York: Doubleday.
- Grobman, Y., & Neuman, E. (2011). *Performatism: Form and Performance in Digital Architecture*. New York: Routledge.
- Hensen, J. (2011). *Building performance simulation for design and operation*. Abingdon, Oxon: Spon Press.
- Hopfe, C., & Hensen, J. (2009). Experiences testing enhanced building performance simulation prototypes in potential user group. *Proceedings of the 11th IBPSA Conference*, (págs. 1976-1982). Glasgow.
- Jameson, F. (1984). *Postmodernism, or, The cultural Logic of Late Capitalism*. Durham: Duke University Press.
- Jencks, C. (1977). *The Language of Post-Modern Architecture*. New York: Rizzoli.
- Jones, C. J. (1970). *Design Methods*. New York: Wiley.
- Kolarevic, B. (2003). Computing the Performative in Architecture. *Digital Design: 21th eCAADe Conference Proceedings*, (págs. 457-464). Graz.
- Le Corbusier. (1923). *Vers une architecture*. Paris: Les éditions G. Crès et cie.

- Leach, N. (1999). *The Anaesthetics of Architecture*. Cambridge, Massachusetts, London: MIT Press.
- Lyotard, J. F. (1979). *La Condition postmoderne: Rapport sur le savoir*. París: Les Editions de Minuit.
- Marcuse, H. (1955). *Eros and Civilization: A Philosophical Inquiry into Freud*. Boston: Beacon Press.
- Masiero, R. (1999). *Estetica dell'architettura*. Bologna: Il Mulino.
- McKenzie, J. (2001). *Perform or Else: from Discipline to Performance*. London, New York: Routledge.
- Muñoz Cosme, A. (2008). *El proyecto de arquitectura: concepto, proceso y representación*. Barcelona: Reverté.
- Oxman, R. (2006). Theory and Design in the First Digital Age. *Design Studies*, 27, 229-265.
- Oxman, R. (2008). Performance-based Design: Current Practices and Research Issues. *International Journal of Architectural Computing*, 1-17.
- Portoghesi, P. (1968). *Dizionario enciclopédico di architettura e urbanistica*. Roma: Istituto Editoriale Romano.
- Quaroni, L. (1977). *Progettare un edificio. Otto lezioni di architettura*. Milano: Mazzotta.
- RIBA. (1963). *Plan of Work for Design Team Operation*. London: RIBA.
- Rinker, D. (2006). “El diseño de productos no es arte”. El aporte de Tomás Maldonado al surgimiento de un nuevo perfil profesional. *Modelos de Ulm – modelos post-Ulm. Hochschule für Gestaltung Ulm 1953 –1968*, 5-10.
- Schechner, R. (1985). *Between Theater and Anthropology*. Pennsylvania: Penn Press.
- Simon, H. (1969). *The Sciences of the Artificial*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Taylor, F. (1911). *The Principles of Scientific Management*. New York: Harper & Brothers.
- Touraine, A. (1969). *La société post-industrielle. Naissance d'une société*. Paris: Denoël.
- Turner, V. (1986). *The Anthropology of Performance*. London: PAJ Publications.
- Ullman, D. G. (1992). *The Mechanical Design Process*. New York: McGraw-Hill.
- Vasari, G. (1568). *Le vite de' più eccellenti pittori, scultori ed architettori*. Firenze: Giunti.
- Wagensberg, J. (2002). *Si la Naturaleza es la respuesta, ¿cuál era la pregunta?* Barcelona: Tusquets.
- Watkins, R. (2007). *Performance by Design: The Systematic Selection, Design, and Development of Performance Technologies that Produce Useful Results*. Amherst, Massachusetts: HRD Press.

Capítulo 1

GENEALOGÍA DEL DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES (DBP)

Introducción

En la segunda mitad del siglo XX la cibernética y el pensamiento sistémico proporcionaron un marco teórico que dio lugar a una nueva forma de entender el “diseño”, es decir la actividad intelectual que precede a cualquier producto, obra o artefacto. En este nuevo marco, el diseño devino una actividad con un método y una lógica propios. A diferencia de las ciencias, sin embargo, cuyo objeto de estudio son los fenómenos naturales, la actividad esencial del diseño es la creación de lo artificial. De esta forma, el diseño se asimiló a una ciencia aplicada que abarcaba disciplinas tan distintas como la administración, la economía, la música o la arquitectura.

En el límite entre el ámbito de las ciencias y de la tecnología, se desarrolló la búsqueda de una metodología capaz de hacer más efectivo el proceso de diseño. Mediante el uso de modelos matemáticos y con el apoyo de la incipiente tecnología informática, el “diseño basado en prestaciones” (DBP) se postuló como una metodología para mejorar la toma de decisiones a partir de la evaluación de los efectos de diferentes propuestas. Su objetivo era garantizar el “éxito” de un diseño, es decir el cumplimiento de unos requisitos previamente planteados. Así, la concepción de un producto tecnológico, tanto un ordenador como un cohete, comenzaba con la definición de unos objetivos expresados en términos cuantitativos, seguía con la postulación de una o más hipótesis que supuestamente podían cumplir con los objetivos planteados; la predicción y las pruebas de su funcionamiento con modelos matemáticos y prototipos; la recogida e interpretación de datos; la comparación de las predicciones con los resultados; la búsqueda de errores o anomalías; y, finalmente, la modificación, implementación y puesta en uso del producto final. La lógica del diseño basado en prestaciones se fundamentaba en la definición clara y concisa de unos resultados que se querían alcanzar, es decir, de unos requisitos de prestaciones. Esencialmente los requisitos de prestaciones se equiparaban a unos criterios por medio de los cuales se evaluaban hipótesis o propuestas alternativas. Así la actividad de diseño se entendía como un proceso de tentativas, a través del que se postulaban, evaluaban y modificaban hipótesis antes de llegar a un resultado que aseguraba el cumplimiento de los objetivos propuestos.

La metodología del diseño basado en prestaciones generó muchas expectativas, del mismo modo que permitió muchos logros, especialmente en el desarrollo de nuevos productos tecnológicos. Sin embargo, esta metodología suponía el cumplimiento de unas condiciones que limitaban su campo de aplicación, ya que no siempre se daba la posibilidad de definir de manera cuantitativa los objetivos de un diseño, ni de seguir un orden lógico en el proceso de creación, ambos aspectos fundamentales para la implementación del diseño basado en prestaciones. Principalmente lo que se ponía en duda era la objetividad y la racionalidad como fundamentos del diseño. El reconocimiento de estos límites, de hecho, llevó a la negación de la idea de diseño como ciencia y a la definición del diseño como disciplina independiente.

En este capítulo se introduce el diseño basado en prestaciones, su origen y evolución. El capítulo se divide en tres secciones en las que se define el trasfondo teórico en el que ha surgido el diseño basado en prestaciones (ciencia cibernética y teoría de sistemas), se analiza la idea de diseño implícita en esta metodología y se describen sus expectativas, logros y límites.

1.1 Orígenes y principios teóricos del diseño basado en prestaciones

Históricamente, el diseño basado en prestaciones (DBP) –en inglés *performance-based design* (PBD) – se ha ido desarrollando paralelamente al advenimiento de una “ciencia del diseño”. En esta sección del capítulo se describen las etapas de su desarrollo en relación a distintos ámbitos científico-técnicos –“ciencia de la decisión”, “ciencia de sistemas” y “ciencia de lo artificial”–, con el objeto de identificar el marco teórico en el que se ha desarrollado el diseño basado en prestaciones.

La primera etapa (1935-1955), la de la “ciencia de la toma de decisiones” (*decision making science*), corresponde a los periodos anterior y posterior a la Segunda Guerra Mundial, en los que se produjo una intensa colaboración entre profesionales de diversas disciplinas, motivada por la planificación de operaciones militares. En estas colaboraciones, además de adoptar un enfoque interdisciplinar y holístico, se puso el énfasis en los datos y la experimentación más que en el razonamiento especulativo, una perspectiva pragmática que se concretó en la “investigación de operaciones” (*operations research*) y “análisis de sistemas” (*systems analysis*), nuevas disciplinas que se ocupaban de describir el procedimiento y las técnicas de apoyo a la toma de decisiones en otros ámbitos, más allá del campo militar. En esos años también se desarrollaron los primeros ordenadores, primero electromecánicos y más tarde electrónicos.

En una segunda etapa (1955-1965), la de las “ciencia de sistemas” (*systems science*), tuvo lugar un proceso de difusión y convergencia de los diversos conocimientos que habían nacido alrededor de la aplicación del ordenador en el ámbito de la investigación militar, lo que favoreció la unificación entre diversas disciplinas. Las teorías holísticas, que se venían fraguando desde principios de siglo en torno a conceptos como *Gestalt* o estructura, confluyeron en el “pensamiento sistémico” (*systems thinking*). La conjunción de la biología con la neurofisiología dio lugar a una nueva rama del conocimiento, a la que se denominó cibernética, que se ocupaba de estudiar los sistemas naturales por medio de la analogía con los sistemas artificiales, y viceversa. De la aplicación de estos conocimientos surgió un ámbito multidisciplinar, la “inteligencia artificial”, cuyo objetivo era la creación de sistemas capaces de actuar de forma análoga a la inteligencia humana.

La tercera etapa (1965-1970) coincide con el surgimiento de la “ciencia de lo artificial” (*sciences of the artificial*), es decir con la ciencia del diseño. La consideración de los procesos cognitivos como una actividad racional, propiciados por la aparición del ordenador, incitaron a pensar que también el diseño, esto es, el proceso de concepción que precede la realización de cualquier obra, pudiera estudiarse empíricamente, describirse y explicarse como una disciplina. A partir de esta convicción, se desarrolló una teoría del diseño en el que el ordenador no actuaría solo como herramienta de apoyo, sino como un modelo (o metáfora) del propio diseño. Más aún, se planteó la posibilidad de que el diseño –entendido como proceso de toma de decisiones– se pudiese reproducir en el ordenador.

La unión de las diversas áreas de las ciencias y el uso compartido de métodos, técnicas y principios, dieron lugar a un contexto extraordinariamente favorable para el desarrollo de nuevos conocimientos, así como a nuevos modelos y estructuras cognitivas para conceptualizar la realidad en analogía con los ordenadores. Es en este contexto en el que surgió el diseño basado en prestaciones.

1.1.1 Ciencia de la toma de decisiones

Durante la segunda mitad del siglo XX la visión holística reemplazó gradualmente el atomismo. Se aceptó que los sistemas son totalidades cuyas propiedades derivan de la interacción entre sus partes y con otros sistemas. El concepto de sistema permitía abordar la solución de problemas complejos, además de consolidarse como una forma de comprender la realidad. La aplicación de esta idea filosófica en la práctica generó a su vez nuevas ideas acerca del método científico. Así, la realización y verificación de los hechos por medio de operaciones y modelos empezó a considerarse más importante que la mera observación y experimentación con los fenómenos reales. En estas circunstancias, emergió una nueva ciencia, pragmática, interdisciplinar y holística, que englobaba no solamente el estudio de la naturaleza, sino también del individuo y de la sociedad.

La nueva filosofía de la ciencia contemporánea, “filosofía operativa” u “operacionismo”, surgida del planteamiento sistémico, era una forma de pragmatismo moderno que empezó con John Dewey y se formalizó con Percy Bridgman y que hundía sus raíces en el pensamiento occidental, particularmente, en Descartes. Esta filosofía de la ciencia encontró aplicación en nuevas disciplinas, la “investigación de operaciones” (*operations research*) y el “análisis de sistemas” (*systems analysis*), cuya finalidad era mejorar la organización, la planificación de tareas y la asignación de recursos en el ámbito militar y que, más tarde, se extendieron al ámbito civil. Estas disciplinas no solamente se centraron en el desarrollo de las técnicas, herramientas y métodos para solucionar problemas específicos, sino que también llegaron a proponer una metodología para ayudar a la toma de decisiones en una situación de incertidumbre.

1.1.1.1 La resolución de problemas: holismo y racionalidad

La conciencia de la complejidad de la realidad empezó a poner en evidencia los límites de la especialización de las ciencias clásicas. Al finalizar la Primera Guerra Mundial, las limitaciones de los enfoques reduccionistas para abordar problemas militares a gran escala pudieron constatarse en la reincidencia de los fracasos. Como consecuencia, el intento de comprender el funcionamiento de un sistema a partir del conocimiento de sus partes empezó a cuestionarse. Gracias en cierto modo a los descubrimientos en el campo de la física y la biología, empezó a asumirse que las propiedades de los sistemas derivaban de la interacción entre sus partes. Además, se consideró la función de un sistema a partir de su condición de pertenencia a sistemas más grandes como en la relación con sistemas más pequeños que lo integraban. Así, un sistema era al mismo tiempo la causa y el efecto de los eventos a los que su actividad daba lugar. Para definir esta visión totalizadora del sistema, el líder militar y estadista Jan Smuts propuso el neologismo “holismo” (del griego ὅλος [hólos]: todo, por entero, totalidad). En su texto *Holism and Evolution* (1926), Smuts afirmaba: “[*Holism*] regards natural objects as ‘wholes’ and not merely as

assemblages of elements or parts. It looks upon nature as consisting of discrete, concrete bodies and things [which] are not entirely resolvable into parts; and [...] which are more than the sums of their parts, and the mechanical putting together of their parts will not produce them or account for their characters and behavior” (Smuts, 1929, pág. 640).

Sin embargo, esta noción de totalidad estaba ya en la filosofía clásica de Aristóteles, quien afirmaba que “el todo es más que la suma de las partes”. También estaba presente en la teoría de los colores de Johan Wolfgang von Goethe –*Zur Farbenlehre* (1810)– quien proponía que las partes están relacionadas con el todo, del mismo modo que el todo con las partes: “*When the eye sees a colour it is immediately excited, and it is its nature, spontaneously and of necessity, at once to produce another, which with the original colour comprehends the whole chromatic scale. A single colour excites, by a specific sensation, the tendency to universality*” (Goethe, 1840, pág. 806). En su texto *Wissenschaft der Logik* (1812), Georg Wilhelm Friedrich Hegel refutaba la concepción atomística del mundo de las cosas reconociendo la relación entre el todo y sus partes como un aspecto esencial –“*The Essential Relation*” (Hegel, 1929, pág. 72)– para entender la realidad.¹ En el siglo XX, el holismo se difundió a través del “estructuralismo”, una corriente de pensamiento que se oponía al planteamiento atomista y que tuvo su origen en el trabajo del lingüista Ferdinand de Saussure, quien entendió el lenguaje como una totalidad: “*La langue est un système dont toutes les parties peuvent et doivent être considérées dans leur solidarité synchronique*” (Saussure, 1916, pág. 96). En el estructuralismo, el concepto de holismo puede asimilarse al término “estructura”, una totalidad que no puede reducirse a sus partes.² La perspectiva holística empezó a manifestarse en las diversas ramas del saber, especialmente en la antropología, la sociología y la teología. A través de ella se aspiraba a tener una visión más amplia de la sociedad, del ser humano y de su forma de pensar. En el ámbito de la psicología cognitiva, el holismo se correspondería con el concepto de *Gestalt*, término alemán que se refiere a una totalidad que no puede reducirse a sus partes constituyentes. *Gestalt*, en alemán, no es solo el patrón, la estructura y la configuración, sino también la apariencia (*Erscheinungsform*) con que se manifiesta la totalidad. Introducida desde el año 1912 gracias a los trabajos de Wolfgang Köhler, Karl Koffka y Max Wertheimer, la psicología de la *Gestalt* explicaba el pensamiento humano con base en una dinámica de organización de la información que remplazaba la visión mecanicista. La idea central es que el fundamento primario de nuestra experiencia no lo constituyen los elementos individuales,

¹ El “idealismo objetivo” de Hegel, cuyo principio general es que “todo está conectado con todo”. Según este principio, no es posible considerar un objeto separadamente de sus relaciones con el mundo: el todo es más que la suma de las partes; el todo condiciona la naturaleza de las partes que no se pueden describir separadamente del todo; y las partes son interdependientes e interconectadas.

² El concepto de estructura como totalidad emerge de los escritos de Saussure, aunque no usó este término. Por otro lado, en *Anthropologie structurale* (1958), Claude Levi-Strauss traspuso la idea de estructura en el ámbito de la antropología: “*Nous pensons en effet que pour mériter le nom de structure, des modèles doivent exclusivement satisfaire à quatre conditions. En premier lieu, une structure offre un caractère de système. Elle consiste en éléments tels qu’une modification quelconque de l’un d’eux entraîne une modification de tous les autres*” (Levi-Strauss, 1958, pág. 306). Asimismo, en *Le structuralisme* (1968), Jean Piaget afirmaba: “*Une structure est un système de transformations, qui comporte des lois [...] et qui se conserve ou s’enrichit par le jeu même de ces transformations*” (Piaget, 1968, págs. 6-7).

sino la totalidad: la estructura interna del conjunto de elementos y el fenómeno o apariencia. Wertheimer, especialmente interesado en los mecanismos del razonamiento relacionados con la resolución de problemas, llevó las teorías psicológicas de la *Gestalt* hacia el incipiente ámbito de la teoría de sistemas y la ciencia cognitiva. En su texto *Productive Thinking* (1959), Wertheimer argumentaba: “*A certain region in the field becomes crucial, is focused; but it does not become isolated. A new, deeper structural view of the situation develops, involving changes in functional meaning, the grouping, etc. of the items. Directed by what is required by the structure of a situation for a crucial region, one is led to a reasonable prediction, which like the other parts of the structure, calls for verification, direct or indirect. Two directions are involved: getting a whole consistent picture, and seeing what the structure of the whole requires for the parts*” (Wertheimer, 1959, pág. 212). Según Wertheimer, la esencia de una conducta satisfactoria en la resolución de problemas pasaba por la capacidad de obtener una imagen coherente de la estructura general del problema (visión holística), desde la cual se podía entender cómo resolver sus partes individuales.

A diferencia de Wertheimer, que se centraba en el enfoque sistémico del acto reflexivo, John Dewey enfatizó más en su contenido racional. Según Dewey existía una estructura lógica en el acto de pensar que se daba por el reconocimiento de una dificultad –“[...] *a state of perplexity, hesitation, doubt*” (Dewey, 1909, pág. 9)– y una serie de operaciones orientadas a garantizar un remedio para esta condición –“*an act of search or investigation directed toward bringing to light further facts which serve to corroborate or to nullify the suggested belief*” (Dewey, 1909, pág. 9)–. El reconocimiento de una dificultad, por leve que fuera, se entendía como un “problema”: “*To say that the abrupt occurrence of the change of temperature constitutes a problem may sound forced and artificial; but if we are willing to extend the meaning of the word problem to whatever no matter how slight and commonplace in character perplexes and challenges the mind so that it makes belief at all uncertain, there is a genuine problem or question involved in this experience of sudden change* (Dewey, 1909, pág. 9). Dewey sostenía que la existencia del problema era fundamental para el acto reflexivo: “*Where there is no question of a problem to be solved or a difficulty to be surmounted, the course of suggestions flows on at random [...]. The problem fixes the end of thought and the end controls the process of thinking*” (Dewey, 1909, págs. 11-12). Lo racional presuponía una meta (problema) a la que apuntaba la reflexión y la acción.

Dewey llegaba a describir cómo la resolución de un problema se daba por una secuencia de cinco pasos (Dewey, 1909, pág. 72):

- *a felt difficulty;*
- *its location and definition;*
- *suggestion of possible solution;*
- *development by reasoning of the bearings of the suggestion;*
- *further observation and experiment leading to its acceptance or rejection; that is, the conclusion of belief or disbelief.*

Para Dewey, la advertencia de una dificultad o problema era una condición para desear algo, pero las acciones para lograrlo no eran obvias. En este sentido, Dewey sostenía: “*The difficulty resides in the conflict between conditions at hand and a desired and intended result, between an end and the means for reaching it*” (Dewey, 1909, pág. 72). Esta condición de dificultad podía implicar un proceso de definición y redefinición de una posible solución. Frente a un problema, el primer paso era la definición de la esencia del problema, a raíz de la cual se podía deducir una posible solución. Pero la propuesta de la solución era un “salto en el vacío”, por lo que se requería posteriormente de una verificación experimental.³ Así, Dewey concluía: “*Since inference goes beyond what is actually present, it involves a leap, a jump, the propriety of which cannot be absolutely warranted in advance, no matter what precautions be taken*” (Dewey, 1909, pág. 75). El paso final y concluyente del proceso de resolución de un problema consistía en verificar experimentalmente la conjetura o inferencia inicial. Si los resultados no resolvían el problema, entonces se debía optar por una revisión de la hipótesis. Aunque la serie de pasos que describían el razonamiento parecían tener un principio y un final, esta secuencia no debía entenderse como lineal sino más bien cíclica. En otras palabras, las premisas “contenían” la conclusión, y la conclusión “contenía” las premisas.

Un extraordinario parecido con esta forma sistémica y racional de describir el razonamiento puede encontrarse en Graham Wallas. En su texto *The Art of Thought* (1926), Wallas afirmaba que el pensamiento pasaba por cuatro etapas (Wallas, 1926, pág. 10):

- *Preparation;*
- *Incubation;*
- *Illumination;*
- *Verification.*

Al igual que Dewey, Wallas proponía una primera etapa en que se reconoce la existencia de un problema, una segunda en la que se busca una solución al problema de manera inconsciente, una tercera en la que se llega a un descubrimiento consciente de la respuesta al problema, y una última etapa en la que se verifica esta intuición. Como resultado de esta verificación, finalmente, podía aplicarse la idea conscientemente elaborada. Tanto Dewey como Wallas consideraban el acto reflexivo en base a los criterios del método científico, según el cual, primero se propone una hipótesis sobre un problema y luego se verifica la solución al mismo. En consecuencia, pensar de manera racional consistía en adoptar el método científico para la resolución de problemas.

Dewey es considerado uno de los pioneros del “operacionalismo” u “operacionismo” (*operationalism*). Históricamente el operacionismo tiene sus raíces en el pensamiento racional de la Ilustración, basado en que todo conocimiento se origina con

³ La verificación no siempre se conseguía a través de la observación directa. Según Dewey, en muchos casos se precisaba de un experimento: “[...] *that, is, conditions are deliberately arranged in accord with the requirements of an idea or hypothesis to see if the results theoretically indicated by the idea actually occur. If it is found that the experimental results agree with the theoretical, or rationally deduced, results, and if there is reason to believe that only the conditions in question would yield such results, the confirmation is so strong as to induce a conclusion at least until contrary facts shall indicate the advisability of its revision*” (Dewey, 1909, pág. 77).

la experiencia (percepción sensible) o evidencia objetiva. A comienzos del siglo XX, sin embargo, el operacionismo se convirtió en una rama de la filosofía de la ciencia que aspiraba a definir todos los conceptos científicos en términos de procedimientos u operaciones experimentales. En su texto *The Logic of Modern Physics* (1927), Percy Bridgman sostuvo que todo concepto científico debe ser definido por medio de operaciones basadas en la medición y la observación, y que un concepto científico no es otra cosa que un conjunto de operaciones requeridas para definirlo. Así sostenía que “[...] *the concept is synonymous with a corresponding set of operations*” (Bridgman, 1927, pág. 5). Bajo este principio, un concepto que no fuese definible operacionalmente, y que por lo tanto no estuviese sujeto a verificación a través de mediciones y observaciones, debería ser rechazado por carecer de sentido. A diferencia del posicionamiento científico anterior, según el cual un concepto se relaciona con el objeto observado, para Bridgman el concepto se asimilaba a los procesos y operaciones que se llevaban a cabo para su medición y evaluación: el concepto de longitud, por ejemplo, corresponde a la medición de la longitud y solo a eso. Así, un concepto científico sería un hecho medible por medio de operaciones.

El concepto del método científico adoptado por Arturo Rosenblueth era esencialmente operacionista. Rosenblueth afirmaba: “*La construcción de modelos de los fenómenos naturales es una de las tareas esenciales de la labor científica. Más aún, podemos decir que toda la ciencia no es sino la elaboración de un modelo de la naturaleza*” (Rosenblueth, 1971, pág. 70). Rosenblueth sostenía que la ciencia, en su intento de obtener conocimiento acerca de los fenómenos de la naturaleza, se basaba en una operación: la elaboración de modelos de los fenómenos observados. Frente a la complejidad de fenómenos tales como los que se dan lugar en el universo, la mayoría de los cuales no pueden entenderse en su totalidad, se seleccionaba un número limitado de variables y se reproducía una porción del fenómeno para su estudio. Al hacer esta abstracción, se establecía un modelo simplificado de una parte del universo que era objeto de investigación, es decir, se substituía una parte del universo por un modelo de estructura similar, pero más sencilla. Como consecuencia, el conocimiento científico no se daba de forma directa, sino a través de la experimentación con un modelo de la realidad, y ya no con la realidad misma. Así, Rosenblueth concluía que los hechos científicos no son reflejos completos de la realidad, sino modelos simplificados de la misma. La filosofía operativa está también presente en los escritos de Karl Mannheim (*Ideology and Utopia: An Introduction to the Sociology of Knowledge*, 1929), Erich Fromm (*Man for Himself: An Inquiry into the Psychology of Ethics*, 1947) y Karl Popper (*The Open Society and its Enemies*, 1945), en los que se plantea, desde diferentes perspectivas, que una teoría debe vincularse a hechos observables por medio de operaciones. En definitiva, el desarrollo más reciente del operacionismo radica en la ampliación de su campo de aplicación a las ciencias sociales.⁴

⁴ En su texto *Operational Philosophy* (1953) Anatol Rapoport afirma: “*Operational philosophy makes possible the extension of scientific evaluating habits to areas in which such habits do not prevail*” (Rapoport, 1953, pág. x).

1.1.1.2 La toma de decisiones: métodos y técnicas

La filosofía operativa encontró aplicación en disciplinas como la investigación de operaciones o investigación operativa (IO),⁵ y el análisis de sistemas (AS), que buscaban resolver los complejos problemas de la organización militar por medio de la implementación del método científico, un enfoque holístico e interdisciplinar. La investigación operativa tiene sus raíces en la programación matemática (optimización), y se aplicó durante la Segunda Guerra Mundial para apoyar la planificación de operaciones militares, como el ordenamiento y coordinación de tareas, mantenimiento y reemplazo de equipos, repartos de cargas de trabajo, planificación y asignación de recursos.⁶ Esencialmente, la investigación operativa se ocupaba de una gran variedad de problemas de naturaleza táctica, más que estratégica, analizando las operaciones para optimizar los objetivos. El análisis de sistemas surgió simultáneamente al desarrollo de las tecnologías de la comunicación en la segunda mitad del siglo XX, como la televisión, la radio, el teléfono, el radar, y, sobre todo, el ordenador, y sirvió para abordar la planificación estratégica de los objetivos y metas de la organización militar desde una perspectiva política y económica. Ambas disciplinas aportaron una visión científica y un planteamiento holístico al proceso de toma de decisiones en el ámbito militar. Fundamentalmente, la investigación de operaciones y el análisis de sistemas consideraron las operaciones militares como organizaciones integradas por personas, máquinas e información, que debían ser tratadas desde diversos puntos de vista, aunque formando parte de una totalidad. Con este fin se constituyeron grupos de trabajos interdisciplinarios en los que participaban matemáticos, físicos, ingenieros electrónicos, biólogos y químicos, los cuales desarrollaron técnicas y métodos para hacer más efectivo el proceso de toma de decisiones.

En 1939 se formó en Inglaterra un grupo de técnicos para sacar partido de los complejos equipos electrónicos que se habían desarrollado recientemente, como el radar (*Radio Detection and Ranging*), un dispositivo que empleaba las ondas electromagnéticas para medir las distancias entre objetos. Entonces no existían especialistas en un ejército que pudieran estudiar cómo aplicar esta nueva herramienta con fines bélicos. Para poder usar el radar eficazmente, hacía falta comprender su funcionamiento, para lo que se

⁵ Mientras en el Reino Unido se usa el término *Operational Research*, en los Estados Unidos y Canadá se usa el término *Operations Research* (OR). Estos dos términos se pueden utilizar sin distinción para describir el mismo campo investigativo. En castellano se han traducidos como investigación de operaciones o investigación operativa (*Operations Research*); también se usa la definición investigación operacional (*Operational Research*).

⁶ En el texto *Métodos y modelos de investigación de operaciones* (2004), Juan Prawda propone un recorrido histórico de la programación matemática en la investigación de operaciones. Según Prawda: “[...] *Los modelos lineales de la Investigación de Operaciones tienen como precursores a Jordan en 1873, Minkowsky en 1896 y Farkas en 1903. Los modelos dinámicos probabilísticos tienen su origen con Markov a fines del siglo pasado. El desarrollo de los modelos de inventarios, así como el de tiempos y movimientos se lleva a cabo en los años veinte de este siglo, mientras que los modelos de línea de espera se originan con los estudios de Erlang, a principios del siglo XX. Los problemas de asignación son estudiados mediante métodos matemáticos por los húngaros Köning y Egervary en la segunda y tercera décadas de este siglo. Los problemas de distribución son abordados por el ruso Kantorovich en 1939. Von Neuman cimienta en 1937 lo que años más tarde culminará como la Teoría de Juegos y la Teoría de Preferencias (esta última desarrollada con Morgenstern). [...] los modelos matemáticos de la Investigación de Operaciones que utilizaron estos precursores estaban basados en el Cálculo Diferencial e Integral [...], la Probabilidad y la Estadística*” (Prawda, 2004, pág. 23).

reclamó la ayuda de profesionales del campo de la física y de la ingeniería electrónica. El grupo de científicos que trabajó bajo la supervisión del profesor Patrick Maynard Stuart Blackett (*Blackett's circus*) logró aumentar excepcionalmente el porcentaje de eficacia de los lanzamientos de cargas aéreas gracias a plantear el problema en base a una teoría matemática.⁷ Con el propósito de asesorar y mejorar las tácticas militares, Blackett había puesto en práctica un método según el cual primero debían estudiarse las operaciones realizadas en el pasado para determinar los hechos fundamentales de una situación. En un segundo momento, debía elaborarse una teoría para explicar estos hechos en forma de una ecuación. Finalmente, esta teoría que describía la dinámica de los hechos pasados, se usaba para predecir los efectos futuros de una decisión tomada en el presente. Este planteamiento, que se empezó a adoptar también por el ejército estadounidense con la aprobación del primer ministro Winston Churchill y del presidente Franklin D. Roosevelt (1941), sentó las bases de la investigación operativa y promovió el desarrollo de ordenadores que tuviesen la capacidad de resolver las complejas ecuaciones que no podían resolverse por otros medios.

Durante la década de 1930 se desarrollaron varias máquinas de cálculo que están en el origen de los ordenadores modernos. Entre 1936 y 1938, el alemán Konrad Zuse realizó el prototipo de la primera computadora, una calculadora electromecánica basada en el sistema binario (digital) y parcialmente programable por medio de una cinta perforada, que recibió el nombre de *Z1*.⁸ En 1937 en Iowa (Estados Unidos), John Atanasoff y Clifford Berry desarrollaron el primer ordenador electrónico digital, denominado *ABC (Atanasoff Berry Computer)*, que se limitaba a realizar un único tipo de cálculo. En estos mismos años, George Robert Stibitz, de los laboratorios Bell, y Howard Aiken, de la Harvard University, en colaboración con IBM, desarrollaron modelos electromecánicos que pueden también considerarse antecesores de los ordenadores actuales. Las investigaciones de Alan Turing sobre criptoanálisis sirvieron para que el ingeniero Tommy Flowers construyera una calculadora electromecánica parcialmente programable con la finalidad de descodificar los mensajes de la máquina criptográfica alemana Lorenz. El prototipo, *Colossus Mark I*, entró en funcionamiento en el Bletchley Park Establishment, la inteligencia británica, en febrero de 1944. Una versión mejorada, *Colossus Mark II* (Figura 1), una calculadora electrónica, digital y parcialmente programable, se instaló por primera vez en junio de 1944, lo que parece que contribuyó

⁷ Sargeant estudió una técnica para el lanzamiento de cargas de profundidad desde aviones dirigidas a los submarinos, la cual fue considerada “la primera aplicación clásica de IO”. La carga de profundidad de los aviones explotaba a 30 metros de profundidad, pero un submarino sumergiéndose era difícil de localizar. La solución se encontró al replantear el alcance de explosión de la carga de forma que pudieran explotar lo más cerca posible de la superficie, centrando el submarino en su recorrido de inmersión (en torno a los 10 metros de profundidad). Este tipo de problema se resolvió a partir de su representación por medio de una teoría matemática (ecuación).

⁸ *Z1* nunca llegó a funcionar de forma correcta. Posteriormente Zuse intentó subsanar los fallos que se encontraban en el modelo *Z1*, produciendo el modelo *Z2*. En 1941, Zuse realizó *Z3*, un modelo completamente operativo. Ninguna de estas máquinas sobrevivió a la Segunda Guerra Mundial, ya que fueron destruidas en el bombardeo de Berlín. El modelo *Z4* fue completado en 1945 y se usó de forma rutinaria durante los años 1950-1959. En ese momento, era la única computadora funcionando en el continente europeo.

de un modo decisivo al final de la guerra.⁹ En 1946, John W. Mauchly y John Presper Eckert desarrollaron en la University of Pennsylvania una computadora electrónica, digital y susceptible de ser reprogramada para resolver una extensa clase de problemas, que se llamó *ENIAC* (*Electronic Numerical Integrator And Computer*) (Figura 2).¹⁰ En 1948, el ingeniero y matemático húngaro-americano John von Neumann se incorporó al equipo de Mauchly y Eckert, donde aplicó su idea acerca del almacenamiento de programas en la producción de *EDVAC* (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*). Los datos y las instrucciones se almacenaban en una “memoria”, lo que liberaba al ordenador de leer la cinta de papel durante la ejecución de las operaciones.

Todas estas computadoras son las primeras de su categoría: *Z3* es el primer ordenador digital electromecánico, programable y automático; *ABC* el primer ordenador electrónico; *Colossus* el primer ordenador electrónico y programable; *ENIAC* el primer ordenador electrónico de propósito general; *EDVAC* el primero ordenador con posibilidad de almacenar el programa. Diversos historiadores consideran que el “primer ordenador” fue el *ENIAC*, otros consideran que fue la versión más avanzada de la máquina de Zuse (*Z3*, 1941) por ser la primera máquina completamente automática y programable. También *Colossus* era una computadora electrónica programable, pero estuvo por muchos años considerada como clasificada y se destruyeron la mayoría de documentos relacionados con el proyecto. Al margen de la discusión sobre cuál de estas máquinas puede considerarse como el primer ordenador, se puede afirmar con seguridad que todas ellas, desde distintos puntos de vista, contribuyeron a la creación del ordenador moderno.

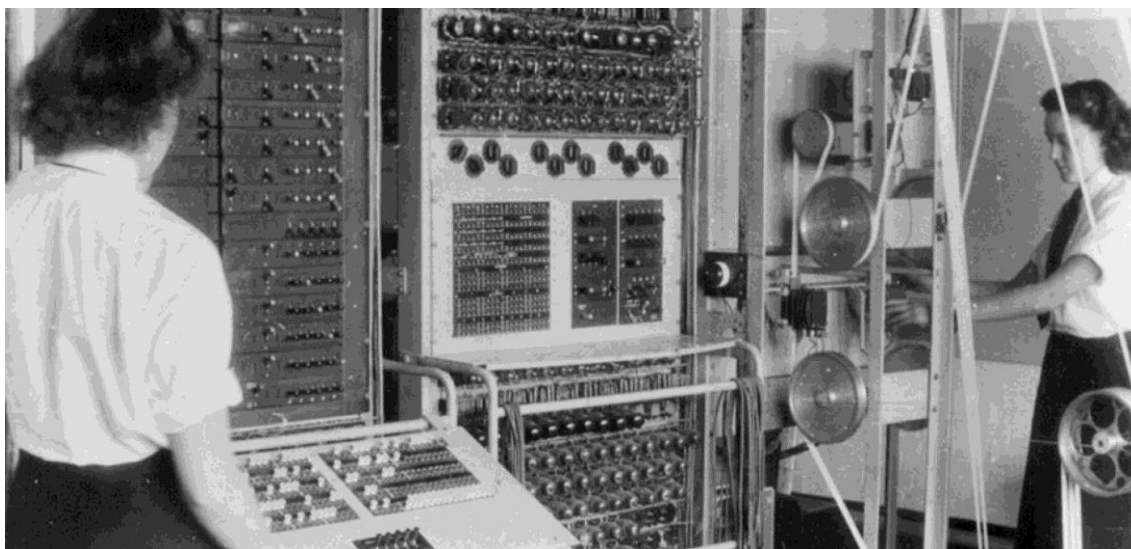


Figura 1. *Colossus Mark II*. Fuente: Fotografía anónima (1943), The National Archives (UK).

⁹ *Colossus Mark I* tenía 1.500 válvulas electrónicas, mientras que *Colossus Mark II* contaba con 2.400 válvulas y era 5 veces más rápida y más fácil de operar, lo cual aumentó considerablemente el proceso de decodificación. El uso de esta máquina contribuyó de un modo decisivo en la Segunda Guerra Mundial. Sin embargo, se suele afirmar erróneamente que *Colossus* sirvió para descodificar el código “Enigma”, cuando esto se debió al uso de *Bombe* (1939), una máquina electromecánica diseñada por Turing.

¹⁰ *ENIAC* pesaba 27 toneladas, ocupaba una sala de 10 × 20 metros y contaba con unas 18.000 válvulas de vacío. Necesitó 150.000 vatios de potencia para su funcionamiento.

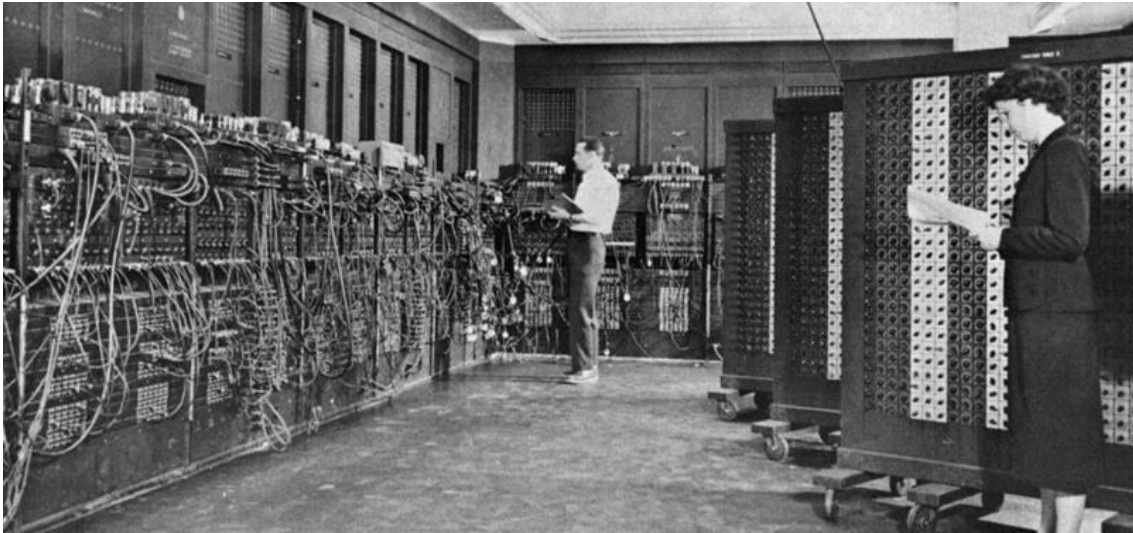


Figura 2. ENIAC. Fuente: Fotografía anónima, (1947-1955), U.S. Army Photo.

Recién acabado el conflicto militar, se constituyeron organismos y *think tanks* como la RAND (*Research And National Development Corporation*), en los que se continuó experimentando con las aplicaciones de la filosofía operativa y promoviendo la colaboración interdisciplinaria desde una perspectiva holística en cualquier ámbito que pudiese reforzar la posición estratégica del país, desde los satélites hasta los ordenadores más avanzados.¹¹ En este contexto se exploró también la aplicación de las técnicas que surgieron a partir de la idea de sistema para mejorar las tácticas militares en el ámbito civil (Figura 3). En 1947 George Dantzig publicó el algoritmo simplex, que estuvo en la base de la programación lineal –*linear programming* (LP)–, una de las técnicas de la investigación operativa más utilizada. Al hilo de estos estudios pioneros de la ciencia de la computación surgieron otras técnicas como la programación en enteros –*integer programming* (IP)–, la teoría de colas –*queuing theory* (QT)–, las reglas lineales de decisión –*linear decision rule* (LDR)–, la programación dinámica –*dynamic programming* (DP)–, la teoría de juegos –*game theory* (GT)–. Se perfeccionaron diversas técnicas económicas para el análisis de coste-beneficios y el análisis de coste-efectividad que, juntamente con otras técnicas que no eran directamente dependientes de las matemáticas avanzadas o del ordenador, como el árbol o las matrices de decisiones, se extendieron a organizaciones industriales, académicas y gubernamentales, llegando enseguida a todos los ámbitos en los que se requería tomar decisiones de manera racional.¹² Los ámbitos que más se beneficiaron de estas técnicas para la toma de

¹¹ La expresión *think tank*, tanque de pensamiento o expresión de ideas, hace referencia a un comité de expertos. El término fue acuñado en Gran Bretaña durante la Segunda Guerra Mundial y luego se usó para describir la corporación RAND y otros centros de investigación multidisciplinaria. RAND se puso en marcha oficialmente en diciembre de 1945. Durante el 1946, RAND fue lanzado como una división dentro de la Douglas Aircraft Company de Santa Monica (California). En el año 1948 se volvió más independiente y empezó a tratar también con temas sociales. Además de los economistas se integraron sociólogos, psicólogos y otros especialistas. En el ámbito académico surgieron nuevos centros de investigación dedicados al desarrollo de las tecnologías y a su aplicación, como Princeton, Laboratorios Bell, Universidad de Pennsylvania, Bristol, Cambridge y Manchester, MIT Harvard Berkeley, CalTech (California Institute of Technology).

¹² Bajo el mandato de J.F. Kennedy (1960-63), Robert McNamara, ex ejecutivo de la Ford Motor Company, fue secretario de Defensa. McNamara reconfiguró el proceso de toma de decisiones militares

decisiones y de la mentalidad sistémica para la organización de operaciones, fueron la industria manufacturera, el sector hospitalario o de transportes que mejoraron su organización y logística. La industria aeroespacial o la electrónica llegaron a mejorar la producción de sus artefactos tecnológicos. Especialmente el cohete se convirtió no solo en un símbolo de la capacidad de la ingeniería, sino también en un símbolo paradigmático de la política de la posguerra.



Figura 3. Analistas simulando tácticas de guerra por medio del juego (*war games*) en la RAND Corporation, Santa Monica (California). Fuente: Fotografías de Leonard Mccombe (1958), Life.

A finales de la década de 1950, se buscó dotar a la organización de operaciones de una sólida base teórica que abarcara las diversas técnicas y métodos que se habían venido desarrollando para apoyar la toma de decisiones frente a una situación de incertidumbre. En el año 1948 se formó en Birmingham el *Operational Research Club* (ORC), convertido en 1953 en la *Operational Research Society* (ORS). La ORS definía la investigación de operaciones como: “[...] *the application of the methods of science to complex problems arising in the direction and management of large systems of men, machines, materials and money in industry, business, government and defense. The distinctive approach is to develop a scientific model of the system, incorporating measurements of factors such as chance and risk, with which to predict and compare the outcomes of alternative decisions, strategies or controls. The purpose is to help management determine its policy and actions scientifically*”. Sin embargo, una de las definiciones de la IO más aceptadas por la comunidad científica se debe al trabajo de Churchmann, Ackoff y Arnoff (1957): “*The concern of OR with finding an optimum decision [...]. It does not seek merely to define a better solution to a problem than the one in use; it seeks the best solution*” (Churchman, Ackoff, & Arnoff, 1957, pág. 8). A ello se añadía: “*Operation research, in the most general sense, can be characterized as the application of scientific methods, techniques and tools, to problems involving the operations of a system so as to provide those in control of the operation with optimum solutions to the problems*” (Churchman, Ackoff, & Arnoff, 1957, pág. 9). La IO se definió

del programa de defensa reemplazando la experiencia y el juicio mediante un análisis económico sistemático. Para eso se rodeó de colaboradores y asistentes que provenían del mundo académico o de la corporación RAND: Charles J. Hitch se convirtió en su asistente principal, proporcionando la base intelectual para la toma de decisiones, mientras que Alain C. Enthoven introdujo las herramientas técnicas (análisis de sistemas, el análisis de coste-efectividad y otros métodos cuantitativos), poniendo énfasis en las estadísticas, la tecnología informática y la prueba científica.

como la aplicación del “método científico” a los problemas que implican las operaciones de un “sistema” para proporcionar “soluciones óptimas”. A partir de este planteamiento se consiguió una metodología para la toma de decisiones que hacía uso explícito de diversas técnicas matemáticas (Tabla 1): formulación del problema, construcción del modelo del sistema, derivación de la solución al problema planteado, verificación del modelo, e implementación de la solución.¹³

Churchman, Ackoff, & Arnoff (1957)	Michael Sargeant (1965)
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Formulating the problem.</i> • <i>Constructing a mathematical model to represent the system under study.</i> • <i>Deriving a solution from the model.</i> • <i>Testing the model and the solution derived from it.</i> • <i>Establishing controls over the solution.</i> • <i>Putting the solution to work: implementation.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Formulating the problem.</i> • <i>Collecting relevant data.</i> • <i>Data analysis for the definition of a model.</i> • <i>Modification of the model to predict what would happen in varying circumstances.</i> • <i>Selecting the optimal sequence of action that solves the problem.</i> • <i>Checking the validity of the model.</i>

Tabla 1. Metodología de la investigación operativa propuestas por Churchman, Ackoff, & Arnoff. Fuente: (Churchman, Ackoff, & Arnoff, 1957). Metodología de la investigación operativa propuestas por Sargeant. Fuente: (Sargeant, 1965).

Una metodología para la resolución de problemas fue propuesta también en el ámbito del análisis de sistemas. Según el economista de la RAND Alain Enthoven, un proceso de toma de decisiones racional era sobre todo de naturaleza económica (Enthoven, 1963, pág. 8). Sobre la base de este planteamiento, Enthoven definía el AS como “[...] *a cycle of definition of objectives, design of alternative systems to achieve those objectives, evaluation of the alternatives in term of their effectiveness and costs, a questioning of the objectives and a questioning of the other assumptions underlying the analysis, the opening of new alternatives, the establishment of new objectives, ...and so on*” (Enthoven, 1963, pág. 8). Edward Quade, por otra parte, afirmaba: “*System analysis, that is, analysis to suggest a course of action by systematically examining the costs, effectiveness and risks of alternative policies or strategies –and designing additional ones if those examined are found wanting– represents an approach to, or way of looking at, complex problems of choice under uncertainty*” (Quade, Military Systems Analysis,

¹³ La verificación del modelo se podía realizar introduciendo valores reales y comprobando si el modelo podía reproducir una situación real (prueba retrospectiva). También se debía verificar la solución, comparando sus efectos con los que se obtenían cuando no se aplicaba. Esta solución se consideraba válida siempre y cuando no se produjeran cambios en el sistema representado, es decir en la relación entre las variables consideradas.

1963, pág. 1). Quade proponía una metodología de carácter cíclico para el análisis de sistemas, según la cual en cada etapa se realizaban distintas tareas o actividades (Tabla 2)(Figura 4). Charles Hitch, jefe de la División de Economía de la RAND en Santa Mónica entre los años 1948-1961, también describió una metodología parecida (Tabla 2): “[...] *a continuous cycle of defining military objectives, designing alternate systems to achieve those objectives, evaluating these alternatives in terms of their effectiveness and cost, questioning the objectives and the other assumptions underlying the analysis, opening new alternatives, and establishing new military objectives*” (Hitch, 1963, pág. 8).

Edward Quade (1963)	Charles J. Hitch (1966)
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Formulation: Defining the issues of concern, clarifying and limiting the problem.</i> • <i>Search: Determining the relevant data, looking for alternative programs for action to resolve the issues.</i> • <i>Explanation: Building a model and using it to explore the consequences of the alternative programs.</i> • <i>Interpretation: Deriving the conclusions.</i> • <i>Verification: Testing the conclusion by experiment.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>The definition of the objective(s).</i> • <i>The description of alternative means by which the objective(s) may be accomplished.</i> • <i>Determination of the costs associated with each alternative.</i> • <i>Construction of a model of the situation</i> • <i>Selection of criteria for choosing the preferred alternative.</i>

Tabla 2. Metodología del análisis de sistemas propuestas por Quade. Fuente: (Quade, 1966). Metodología del análisis de sistemas propuestas por Hitch. Fuente: (Hitch, 1963).

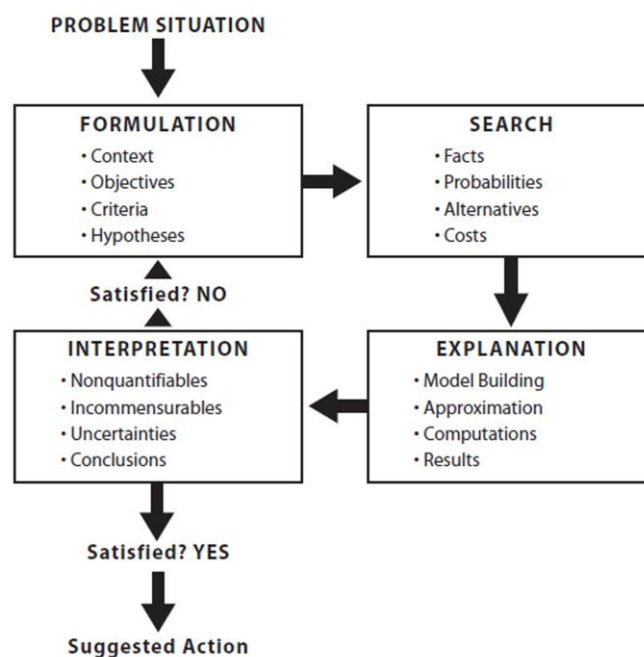


Figura 4. El proceso del análisis de sistemas. Fuente: (Quade, 1966).

Aunque las metodologías de la IO y AS se basaban en las mismas etapas (formulación del problema, construcción del modelo y verificación), se pueden apreciar algunas diferencias sustanciales. Mientras el IO se ocupaba principalmente de un aspecto específico de un problema, la AS trataba el problema en su globalidad. Así, las dos disciplinas se caracterizaban por diversas maneras de plantear el problema a resolver. Por este motivo Quade sostenía que las dos disciplinas consideraban el mismo problema en una escala diferente: *“There is no clear line of demarcation between operations research and what we are calling systems analysis; the difference is a matter of degree”* (Quade, 1963, pág. 2). Mientras la IO se ocupaba del “cómo” (cómo bombardear un submarino desde un avión, cómo distribuir materiales o productos escasos, etc.), el AS se ocupaba del “qué” (decidir sobre cuales objetivos perseguir dentro de una estrategia, elegir entre objetivos conflictivos). Por tanto, la IO se preocupaba del cumplimiento de un objetivo del sistema (racionalidad técnica) de la manera más eficaz. La AS, por otro lado, tenía una visión más holística del problema. Mientras los problemas del IO podían ser resueltos, el AS trataba de problemas para los cuales no podía haber “solución” en un sentido estricto, ya que no había objetivos claramente definidos para optimizar o maximizar. El análisis de sistemas se ocupaba más bien de analizar objetivos alternativos y explorar sus implicaciones en lugar de encontrar una solución óptima (racionalidad económica).¹⁴ En definitiva, tanto la investigación operativa como el análisis de sistemas seguían una metodología basada en verificar la capacidad de una decisión de resolver el problema, pero para este propósito usaban modelos distintos. Mientras que la IO aplicaba técnicas de programación matemática u optimización (programación lineal), la AS aplicaba técnicas económicas (coste-beneficios o coste-efectividad). Ambos modelos eran esenciales para llevar a cabo un proceso racional de toma de decisiones, ya que permitían averiguar las consecuencias o efectos de una u otra decisión con datos y hechos concretos, más que con conjeturas.

1.1.1.3 El uso del modelo: descripción, predicción, experiencia y simulación

En el desarrollo de la metodología de la investigación operativa y el análisis de sistemas, el papel del modelo era fundamental. Mientras las ciencias experimentales encontraban la evidencia de sus teorías en los fenómenos u objetos ya existentes, la investigación operativa debía poder verificar fenómenos o eventos que todavía no existían. En el caso de una táctica militar, o como generalmente ocurre en el diseño, no se daba la posibilidad de observar, ensayar o comprobar los resultados de unas determinadas decisiones. Ante la imposibilidad de llevar a cabo una verdadera “experiencia”, es decir de experimentar con un sistema real, el modelo permitía “simular” el comportamiento del sistema. Al representar las propiedades de un sistema, el modelo constituía a su vez un sistema mediante el cual se podía experimentar o evaluar el impacto de una determinada

¹⁴ En su texto *Reason in Society* (1962), Paul Diesing identificaba dos modelos de racionalidad, la racionalidad técnica y económica: *“In many social theories rationality is denned as identical with efficiency. The efficient achievement of a single goal is technical rationality, the maximum achievement of a plurality of goals is economic rationality, and no other types of rationality are admitted”* (Diesing, 1962, pág. 1). Diesing describía la racionalidad técnica como la realización eficaz de un objetivo, mientras que la racionalidad económica se basaba en la realización de objetivos en base a un proceso de negociación (*trade-off*).

decisión.¹⁵ El modelo, de hecho, es una aproximación a la realidad que consiste en relacionar un todo con alguna de sus partes; esto sirve para explorar qué tipo de interacciones individuales, o decisiones, son compatibles con un comportamiento conocido del todo, o con un objetivo. Asimismo, conocidas ciertas reglas de actuación de las partes, el modelo permite aventurar ciertas predicciones sobre el comportamiento del todo, es decir ensayar las consecuencias de diferentes condiciones o decisiones.

En el ámbito de la investigación operativa y el análisis de sistemas se clasificaron diversos modelos en función de los medios usados para su realización (materiales o conceptuales), del fin del modelo (descripción, predicción o planificación) o del tiempo (estático o dinámico). Churchman, Ackoff y Arnoff, clasificaron los modelos existentes en función de los medios usados para su realización (Churchman, Ackoff, & Arnoff, 1957, págs. 158-162):

- **Iconic model.** *An iconic model pictorially or visually represents certain aspects of a system (as does a photograph or model airplane).*
- **Analogue model.** *An analogue model employs one set of properties to represent some other set of properties which the system being studied possesses (e.g. for certain purpose, the flow of water through pipes may be taken as an analogue of the “flow” of electricity in wires).*
- **Symbolic model.** *A symbolic model is one which employs symbols to designate properties of the system under study (by means of a mathematical equation or set of such equations).*

Un modelo icónico se “parece” a lo que representa, sin poseer todas las características del original (maquetas, fotografía, imagen o escultura). En concreto, puede representar las propiedades esenciales de un objeto a partir de un cambio de dimensión, reduciendo la escala (maqueta de un edificio) o ampliándola (el modelo de un átomo). El modelo análogo es la representación de un objeto o un proceso que se obtiene a partir de diversas clases de propiedades (un mapa es un modelo que representa las calles o diferentes niveles; un grafo es un modelo que puede representar tiempo o costes). Este modelo emplea un conjunto de propiedades para representar otras propiedades (analogía). El modelo simbólico, formal o matemático permite representar la relación causal entre diversos elementos a través de símbolos, números o letras; este modelo es la expresión simbólica en términos lógicos de una estructura idealizada que se supone análoga a la de un sistema real. La fórmula general del modelo simbólico, tal como afirmaban Churchman, Ackoff y Arnoff, consiste en una ecuación matemática que representa el sistema considerado por medio de la función de un grupo de variables, algunas de ellas controlables.¹⁶ Este modelo, conceptual más que material, es especialmente útil en el

¹⁵ Francis Ferguson puso de manifiesto la congruencia entre los conceptos de sistema y modelo: “[...] *the system one constructs is formulated in terms of a model and, conversely, the model is usually that of a system*” (Ferguson, 1975, pág. 18).

¹⁶ La fórmula general de los modelos de la investigación de operaciones es: $E=f(x_i; y_j)$. La ecuación (E) representa la efectividad del sistema (f), el cual depende de la interacción entre las variables que no pueden ser controladas (y_j) y las variables del sistema que pueden ser controladas (x_i).

ámbito de la investigación operativa y análisis de sistemas: el modelo se podía usar para calcular y valorar la efectividad de decisiones alternativas, ya que cada decisión se correspondía con un cambio en el valor de las variables controlables. Según Hitch el modelo es: “[...] *a set of relationships among the objectives, the alternative means of achieving them, the environment and the resources*” (Hitch & McKean, 1966, pág. 215). En el ámbito del análisis de sistemas, Hitch recurría al modelo simbólico para decidir los objetivos estratégicos de un sistema, mientras que, en el ámbito de la investigación de operaciones, Sargeant usaba este tipo de modelo para valorar el comportamiento de un sistema en circunstancias variables. En definitiva, la investigación de operaciones y el análisis de sistemas dependían casi exclusivamente de las técnicas de elaboración de modelos simbólicos.

Otra forma para clasificar los modelos es en función de su propósito. El modelo, de hecho, podía representar una realidad existente o del pasado, pero también un sistema o una situación todavía no existente. Tal como llegó a afirmar Marcial Echenique: “*A model is a representation of a reality, in which the representation is made by the expression of certain relevant characteristics of the observed reality and where reality consists of the objects or systems that exist, have existed, or may exist*” (Echenique, 1972, pág. 164).¹⁷ En función de su finalidad o propósito, Echenique clasificaba los modelos de la siguiente manera (Figura 5):

- ***Descriptive model.*** *The main intention with descriptive model is the understanding of reality, usually, in order to establish how a particular phenomenon comes about and to describe relationships between the relevant factors.*
- ***Predictive model.*** *The main intention with the predictive model is to forecast the future. The predictive model is based on the assumption that the model represents the way reality is changing.*
- ***Explorative model.*** *The main intention with the explorative model is to discover by speculation other realities that may be logically possible by systematically varying the basic parameters used in the descriptive model.*
- ***Planning model.*** *These models are often used as analogue devices that, for purpose of evaluation, simulate the effects of different decisions within a system.*

¹⁷ Este texto de Marcial Echenique se basa en un artículo publicado originariamente en el año 1968, cuyo título es “Land Use and Built Form Studies Working Paper No.6”. Esta publicación formaba parte del trabajo de investigación que Echenique había desarrollado en el Centre for Environmental Studies (LUFBS).

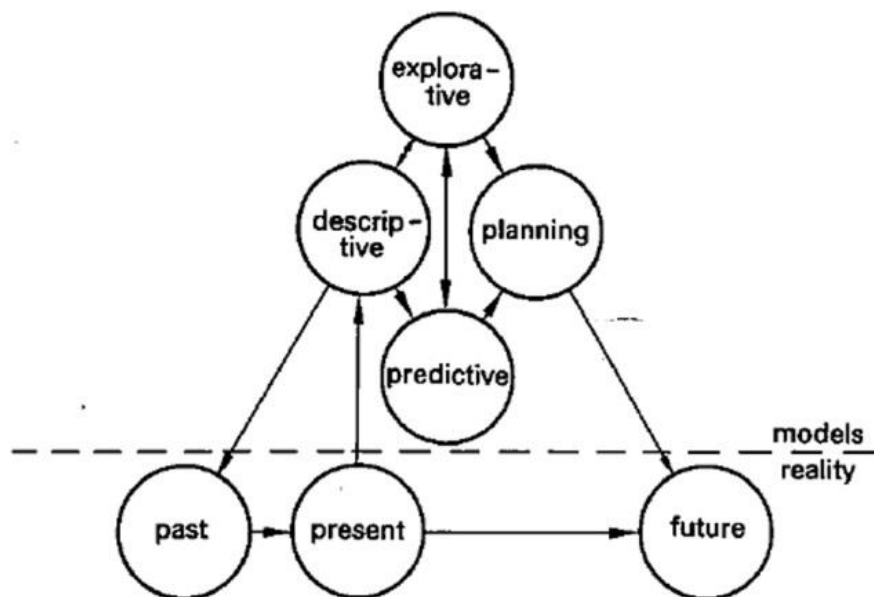


Figura 5. Proceso de construcción de modelos en relación a la realidad. Fuente: (Echenique, 1972).

El modelo descriptivo sirve para explicar una situación presente o pasada. La función principal de estos modelos es reducir la complejidad del mundo observado a un lenguaje coherente y riguroso de relaciones matemáticas. El modelo predictivo permite hacer pronósticos y extrapolarlos en base a una tendencia o representando la relación causal de los componentes en una situación conocida.¹⁸ El modelo de exploración se basa en una especulación sistemática que permite descubrir otras realidades lógicamente posibles en una situación conocida. Finalmente, el modelo de planificación sirve para predecir y simular los efectos de diversas decisiones en un entorno definido en el futuro.¹⁹ Según esta clasificación, los modelos se organizan en base a un orden creciente de dificultad (jerarquía): los modelos descriptivos están contenidos en los modelos predictivos; los modelos predictivos, ya englobados en los modelos descriptivos, están incluidos en los modelos de planificación. Es decir que para la definición del modelo de planificación se requiere un modelo descriptivo que explique el estado actual del sistema representado, así como de un modelo de predicción del funcionamiento del sistema que explique su estado futuro. Sin embargo, los modelos de planificación no deben entenderse solamente como una extensión de los modelos descriptivos o predictivos. Mientras que los modelos descriptivos o predictivos pueden asimilarse a una teoría, los modelos de planificación incluyen unos objetivos que generalmente se excluyen de la observación de la realidad. Si, por lo general, el propósito de un modelo es proporcionar una

¹⁸ Un modelo básico de predicción es la ecuación $Y=kX$. La predicción puede plantearse en términos de extrapolación para conocer el futuro funcionamiento de Y: un cambio en el valor de X causa el aumento del valor de Y proporcional a k. Asimismo, la predicción puede entenderse en términos condicionales: si X ocurre, entonces seguirá Y. Un ejemplo de modelo predictivo condicional es el análisis de impacto (*impact analysis*), que permite individualar las consecuencias debidas a un factor externo en un entorno inalterado.

¹⁹ El tipo de modelo de planificación más conocido es la programación lineal, un algoritmo que permite la exploración eficiente de un amplio espectro de alternativas, si bien bajo unas restricciones matemática considerables. Otro modelo es la programación dinámica que permite identificar una secuencia de decisiones optima, allí donde los efectos de cada decisión condicionan decisiones posteriores.

representación o predicción de la realidad, el modelo de planificación también permite además explorar cómo mejorarla (Figura 6).

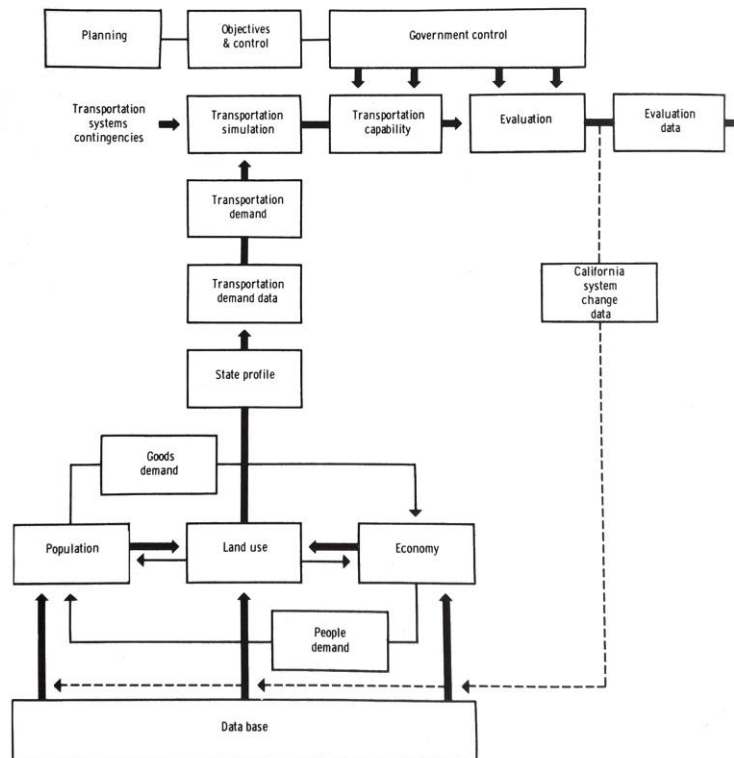


Figura 6. Modelo de transporte de California, ABT Associates. Fuente: (Ferguson, 1975).

Generalmente los términos teoría y modelo se usan como sinónimos, pero no son completamente equivalentes. Ira S. Lowry afirmaba: “*Although ‘theory’ and ‘model’ are often used interchangeably to denote a logico-mathematical construct of interrelated variables, a distinction can be drawn. In formulating his construct, the theorist’s overriding aims are logical coherence and generality [...]. The model builder, on the other hand, is concerned with the application of theories to a concrete case, with the aim of generating empirically relevant output from empirically based input*” (Lowry, 1965, pág. 55). Tanto la teoría como el modelo pueden describir o predecir el comportamiento de un sistema. Sin embargo, el modelo, al permitir simular el funcionamiento de un sistema, puede servir para legitimar o verificar las teorías. Por tanto, el modelo puede jugar el papel de la experiencia frente a la teoría, así como puede jugar el papel de la teoría frente a la experiencia.²⁰ En otras palabras, el modelo puede entenderse como una

²⁰ En su texto *Ideas sobre la Complejidad del Mundo* (1985), Jorge Wagensberg afirma: “[...] la simulación puede nutrirse indistintamente de la teoría o de la experiencia (la interacción entre dos elementos de un todo puede venir de un modelo teórico o de la observación experimental). En el primer caso, el resultado puede poner de manifiesto una incompatibilidad con la teoría, es decir, enciende la alarma de una denuncia contra cierto modelo teórico. En este caso la simulación juega el papel histórico de la experiencia. En el segundo caso, si la simulación se nutre de datos experimentales, entonces el resultado ofrece predicciones de la globalidad o confirma la viabilidad de las individualidades, y esto puede significar la propuesta de nuevas experiencias o, directamente, la predicción de un lance hasta entonces ignorado. En este caso la simulación juega el papel histórico de la teoría” (Wagensberg, 1985, pág. 100).

forma de conocimiento científico a medio camino entre la teoría y la experimentación. Tal como comenta Jorge Wagensberg: “[...] *esta forma de simulación [modelo] es algo más que la extensión de una herramienta (el cálculo), incluso algo más que un nuevo órgano exosomático de observación (un instrumento tipo microscopio o telescopio)*” (Wagensberg, 1985, pág. 94). Para Wagensberg, la simulación constituye una nueva manera de aproximarse a la realidad capaz de afectar el mismo método científico.

1.1.2 Ciencia de los sistemas

En el periodo inmediatamente posterior a la Segunda Guerra Mundial, muchos de los conocimientos derivados de la investigación de operaciones y del análisis de sistemas se generalizaron y encontraron aplicación también en otros ámbitos al margen de la ciencia militar. En este proceso de difusión y convergencia del conocimiento se descubrieron analogías e isomorfismos entre las diversas disciplinas, lo que llevó a plantearse su unidad. Esta perspectiva llevó al desarrollo de nuevos campos científicos y de conocimiento, como la teoría de sistemas, la cibernética y la inteligencia artificial. Se trataba esencialmente de ciencias que adoptaban una manera de acercarse a la realidad desconocida para la epistemología que precede a la aparición del ordenador.

Las diversas manifestaciones del pensamiento holístico –expresadas en las obras de Marx, Husserl, Hegel, Goethe, Saussure o Wertheimer– llegaron a confluir en lo que se denominó “pensamiento sistémico”, la forma de pensar holísticamente. Estas ideas dieron lugar al desarrollo de la “teoría de sistemas”, por medio de la cual se investigaba la posibilidad de existencia de un lenguaje común aplicable en cualquier ámbito del conocimiento. Esta teoría se fundó con base en la suposición de que todos los tipos de sistema (concreto, conceptual, abstracto, natural o artificial) tenían características comunes, independientemente de sus rasgos específicos.

La síntesis entre la biología, mecánica y la neurofisiología dio lugar a una nueva rama del conocimiento, a la que se designó como “cibernética”, y que se ocupaba de estudiar los sistemas vivos por medio de analogías con los sistemas físicos y viceversa. La cibernética abrazaba la idea de que ambos sistemas, naturales y artificiales, estaban regulados por un único principio universal que en la mecánica se definía como servomecanismo y en la biología como homeostasis. Ambos sistemas, por lo tanto, se basaban en un mecanismo de adaptación. Así, mientras la teoría de sistemas se ocupó de definir el concepto de sistema y sus características, la cibernética trataba de explicar su funcionamiento, es decir, sus procesos. En el ámbito de la cibernética se estudió especialmente la analogía entre la estructura fisiológica del cerebro humano y el ordenador (el ordenador como cerebro electrónico), lo que permitió mejorar la organización o arquitectura de los componentes de un ordenador, así como su funcionamiento.

Otra línea de investigación surgió de la analogía entre el ordenador y la mente (el ordenador como procesador simbólico), cuyo interés radicaba en la simulación de procesos cognitivos. Por un lado, los científicos cognitivos vieron en estas ideas el fundamento de la “inteligencia artificial”, área de la ciencia aplicada que se centró en la creación de sistemas capaces de resolver problemas utilizando la analogía con la

inteligencia humana. Por otro lado, los psicólogos identificaron estas ideas como una corriente de la psicología de la cognición que se definió “psicología del proceso de información”, la cual profundizaba por medio del ordenador el conocimiento sobre los patrones del razonamiento humano. Más allá de su definición, los estudios cognitivos ayudaron a entender los procesos lógicos que subyacen en un ordenador, al igual que el ordenador ayudó a entender los patrones del razonamiento humano.

1.1.2.1 Teoría de sistemas: las propiedades del concepto moderno de sistema

En 1954, el biólogo Ludwig von Bertalanffy y el economista Kenneth Boulding fundaron la *International Society for General Systems Theory* (ISGST), organismo que más tarde se convirtió en la *International Society for Systems Science* (ISSS). Dentro de esta organización se planteó el desarrollo de isomorfismos entre conceptos, leyes y métodos que podían trasladarse de un campo del conocimiento a otros. Es decir, se investigaron los principios generales en fenómenos tratados de forma específica por diferentes áreas del conocimiento. En contra del reduccionismo que caracterizó a las ciencias biológicas, ya desde la década de 1930 von Bertalanffy venía desarrollando una visión “organicista” de la biología.²¹ Sin embargo, sus ideas se aceptaron solamente después de la publicación del artículo “An Outline of General System Theory” (1950), donde sostuvo: “*The central position of the concept of wholeness in biology, psychology, sociology and other sciences is generally acknowledged. What is meant by this concept is indicated by expressions such as ‘system,’ ‘gestalt,’ ‘organism,’ ‘interaction,’ ‘the whole is more than the sum of its parts’ and the like. However, these concepts have often been misused, and they are of a vague and somewhat mystical character. The exact scientist therefore is inclined to look at these conceptions with justified mistrust. Thus it seems necessary to formulate these conceptions in an exact language. General System Theory is a new scientific doctrine of ‘wholeness’—a notion which has been hitherto considered vague, muddled and metaphysical*” (von Bertalanffy, 1950, pág. 136). El objetivo de von Bertalanffy era llegar a definir una terminología capaz de expresar ciertos conceptos compartidos por las diversas ciencias. El concepto de “sistema” podía resumir las ideas expresadas por términos tan específicos como los de la *Gestalt* en psicología y el de organismo en biología. El organismo o la máquina eran conformaciones específicas de sistemas, un sistema biológico podía compararse con otro tipo de sistema y los problemas biológicos podían ser representados como problemas de organización. Así, von Bertalanffy afirmaba: “*It is the beauty of systems theory that it is psycho-physically neutral, that is, its concepts and models can be applied to both material and nonmaterial phenomena*” (von Bertalanffy, 1967, pág. 100). En otras palabras, el concepto de sistema se podía aplicar a distintos tipos de organizaciones (naturales o artificiales, físicas o abstractas, concretas o conceptuales), independientemente de su naturaleza o ámbito de conocimiento.

²¹ Con su texto *Zu einer allgemeinen Systemlehre* (1945), Ludwig von Bertalanffy fue pionero de la concepción de la biología (denominada “organicista”), una teoría holística de la vida y la naturaleza. Este concepto encontró resistencia general en los biólogos experimentales, quienes consideraban que la teoría de von Bertalanffy era un isomorfismo banal, que pretendía explicar los procesos de la vida mediante la investigación física y química de las leyes a niveles sub-celulares. Sus estudios sobre la jerarquía de los sistemas se consideran como el punto de partida de la Teoría General de Sistemas (TGS).

El término sistema tiene su origen en la antigua filosofía griega. En su acepción tradicional, tal y como transita por la filosofía occidental hasta la modernidad, la idea de sistema se refiere al orden, ordenación y unidad, llegando a coincidir con el concepto de estructura (estructuralismo). Este significado de sistema ha persistido en los escritos de los científicos modernos. Kenneth Boulding afirmaba que lo contrario al sistema es el caos: “[...] *we must therefore look frankly at the value presuppositions which are likely to lead to a general system point of view. The first of these presuppositions is a prejudice in favor of system, order, regularity, and nonrandomness (all these words being roughly synonymous), and a prejudice against chaos and randomness*” (Boulding, 1964, pág. 26). El ingeniero Arthur Hall describió el sistema como “*A set of objects together with relationships between the object and between their attributes*” (Hall & Fagen, 1956, pág. 18). Por su parte, Ross Ashby, uno de los padres de la cibernética, afirmó: “*The system now means, not a thing, but a list of variables. [...] A ‘system’ is a set of variables sufficiently isolated to stay constant long enough for us to discuss it*” (Ashby, 1964, pág. 40). West Churchman, el teórico de la investigación operativa afirmó: “*We are specifically interested in the design of systems, i.e., of structures that has organized components*” (Churchman, 1971, pág. 7). Asimismo, todos estos autores compartían el principio básico según el cual un sistema no puede comprenderse por el análisis de las partes debido a la complejidad de interacciones entre sus componentes, y porque su naturaleza es inmanente en el todo (holismo).

En la década de 1960, sin embargo, el significado de sistema se actualizó para expresar unas ideas nuevas que nacieron conjuntamente con la tecnología informática. Los científicos mencionados concordaban con que la estructura se refiere a la organización del sistema (organización de las partes con el todo), mientras que el sistema era una estructura organizada para actuar o realizar unas funciones determinadas. Bajo esta perspectiva, una definición general de sistema según Lars Skyttner sería: “*A system is a set of interacting units or elements that form an integrated whole intended to perform some function*” (Skyttner, 2005, pág. 57). Otra diferencia reside en que la estructura describía solo a la relación interna de los elementos de un sistema, mientras que el sistema consideraba también la relación de estos elementos con un entorno externo. De hecho, la noción de sistema empleada en la biología no solo se refería a los seres naturales organizados sino a la relación de éstos con el medio ambiente. Por este motivo, von Bertalanffy definió el sistema como: “[...] *a set of elements standing in interaction among themselves and with the environment*” (von Bertalanffy, 1968, pág. 38). West Churchman, teórico de la investigación operativa, sintetizaba así las características de un sistema (Churchman, 1971, pág. 43):

- *It is teleological (purposeful).*
- *Its performance can be determined.*
- *It has parts (components) that in and of themselves have purpose.*
- *It is embedded in an environment.*

Churchman especificaba que el propósito y el entorno eran características esenciales del sistema. El propósito de un sistema es la razón de su existencia, pero no

en el sentido de la causa final de Aristóteles, sino más bien como aquello que el sistema hace o se propone hacer, sus objetivos (*goals*). La definición del propósito u objetivos del sistema es esencial para evaluar su funcionamiento o prestaciones (*performance*).²² Por otra parte, el entorno del sistema es el conjunto de elementos, sistemas o fenómenos exteriores al sistema cuyos cambios pueden afectar a la actividad y el comportamiento del propio sistema. Así, Ross Ashby sostenía desde la perspectiva de la biología: “*Given an organism, its environment is defined as those variables whose changes affect the organism, and those variables which are changed by the organism’s behaviour. It is thus defined in a purely functional, not a material, sense [...]. The organism affects the environment, and the environment affects the organism: such a system is said to have ‘feedback’*” (Ashby, 1960, págs. 36-37). Refiriéndose a los sistemas físicos, Hall y Fagen afirmaban: “*For a given system, the environment is the set of all objects outside the system a change in whose attributes affect the system and whose attributes are changed by the behaviour of the system*” (Hall & Fagen, 1956, pág. 20). En general, el entorno condiciona al sistema y el sistema afecta también al entorno. Así, la definición del entorno está estrechamente relacionada con el objetivo del sistema. Básicamente, el entorno de un sistema no es fijo, sino que cambia en relación al sistema considerado. Al cambiar la actividad del sistema, también cambia su entorno. Asimismo, el entorno conduce a distinguir entre sistema abierto, aquel que tiene intercambios con su entorno, y sistema cerrado, aquel que está aislado y no interactúa con lo que es exterior al sistema.

En definitiva, el sistema se entendió como un conjunto organizado y estructurado de elementos que se relacionan entre sí para alcanzar un fin u objetivo determinado. Esta idea de sistema subyacía en la investigación operativa, que consideraba que una operación militar era la organización de personas, máquinas y recursos necesarios para la realización de una meta propósito específico, como ganar una batalla, siendo el enemigo su entorno. Por lo tanto, las técnicas y los métodos para la toma de decisiones, la planificación, y hasta el mismo ordenador, pueden entenderse como el resultado del pensamiento sistémico. Mientras que la teoría de sistemas se ocupaba de definir una nueva ciencia, paralelamente surgió otra, la cibernética, que se centró en estudiar los procesos de los sistemas.

1.1.2.2 Cibernética: los procesos del concepto moderno de sistema

En el movimiento que llevó a unificar diversos ámbitos científicos, Norbert Wiener se ocupó de hacer una síntesis entre campos aparentemente tan dispares como la mecánica y la fisiología, acuñando el término “cibernética” para definir un nuevo ámbito de conocimiento que abarcaba a ambos. El término cibernética procede etimológicamente del griego *kybernetes*, que se refiere al arte del timonel para pilotar un navío. Con este término Wiener se refería al *servomecanismo*, esto es, el mecanismo de control automático que permite redirigir el camino de barcos o cohetes hacia una meta, un modelo

²² La definición de los objetivos es uno de los fundamentos la idea operacional de sistema. Los objetivos pueden confundirse con una mera declaración de principios, que son objetivos “no operacionales”. El propósito del investigador debe ser el de determinar los objetivos operacionales, en el sentido de que pueden ser medidos para, a través de dicha medición, determinar la efectividad del sistema, o la forma como está operando éste (*performance*).

aplicable por igual al comportamiento de animales y seres humanos. Básicamente, Wiener estudió el comportamiento de los sistemas vivientes (organismos) por medio de la analogía con el funcionamiento de los sistemas físicos (máquinas), y viceversa. De esta forma, los conceptos de información, retroalimentación (*feedback*) y control que tenían aplicación específica en la ingeniería, se hicieron extensivos a cualquier sistema, incluidos los organismos, los procesos en el cerebro y en el lenguaje, lo que condujo a la definición de la cibernética como el estudio de la comunicación y del control en general.

En los años previos a la guerra, Wiener se ocupó de la teoría de la predicción balística y desarrolló ecuaciones para calcular la trayectoria de proyectiles a partir de datos estadísticos (probabilidades estadísticas). Esta experiencia le sirvió durante la Segunda Guerra Mundial, cuando se ocupó de un proyecto para guiar a la artillería antiaérea de forma automática mediante radares. Su investigación llevó al desarrollo de un sistema – *Anti-Aircraft Predictor (AA Predictor)*–, que estaba diseñado para predecir la trayectoria de los bombarderos enemigos y así orientar adecuadamente los disparos de las baterías, mediante correcciones basadas en la diferencia entre la trayectoria prevista y real. Este sistema usaba un mecanismo de control compensatorio basado en la retroalimentación, es decir, se valía de los resultados de sus acciones para corregir el error y guiar las acciones posteriores hacia el cumplimiento del objetivo propuesto. Por tanto, se trataba de un mecanismo para prever el curso de una acción para anticiparse a ella. Sin embargo, una de las características del problema del tiro antiaéreo era que el sistema incluía varias fases operadas por humanos (el artillero y el piloto del avión objetivo). Por este motivo, Wiener se centró en el estudio del comportamiento del control voluntario en operadores humanos, llegando a la conclusión que la retroalimentación de los errores tenía aquí un papel tan importante como en los mecanismos hechos por el hombre (servomecanismos).

Además, Wiener observó que el modelo desarrollado en balística (bucle de retroalimentación) era aplicable a muchos otros fenómenos, pero en particular era útil como modelo del sistema nervioso para explicar la motricidad de los animales. Estas conclusiones, que fueron el fruto de la intensa colaboración con el fisiólogo Arturo Rosenblueth, se recogieron en el libro *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine* (1948), en el que postula la unidad que mantienen los problemas de la comunicación y el control tanto en las máquinas como en los organismos. Wiener planteaba que cualquier sistema propositivo o teleológico, independientemente de su contexto, es un sistema regulador, es decir, se basa en el mecanismo de retroalimentación.²³ Desde esta perspectiva, un organismo con capacidad de control de sus acciones puede entenderse como un sistema basado en el retorno de una serie de

²³ En el artículo “*Behavior, Purpose, and Teleology*” (1943), Rosenblueth y Wiener revisaron el planteamiento teleológico clásico derivado de la doctrina de las “causas finales” de Aristóteles. En el planteamiento clásico, la noción de propósito coincidía con la idea aristotélica de causa final. Sin embargo, Rosenblueth y Wiener afirmaban que cualquier acción que responde a un objetivo, independientemente de una causalidad, se caracterizaba por ser teleológica. Así, cualquier máquina se caracteriza por un comportamiento intencional intrínseco: “[...] *all machines are purposeful. [...] All purposeful behavior may be considered to require negative feedback. If a goal is to be attained, some signals from the goal are necessary at some time to direct the behavior*” (Rosenblueth, Wiener, & Bigelow, 1943, pág. 19). Así, se concluye: “[...] *the term teleology was used as synonymous with purpose controlled by feedback*” (Rosenblueth, Wiener, & Bigelow, 1943, pág. 23).

mensajes o señales que le permiten ajustar o compensar (*compensator*) los movimientos de sus órganos (*effector*) (Figura 7). Lo interesante de este proceso es que se adapta automáticamente a las condiciones del entorno. Esto no significa, sin embargo, que la adaptación sea puramente instintiva. Mientras que el servomecanismo usa datos numéricos para corregir el sistema y regularlo (sistema cerrado), definiendo la sencilla retroalimentación de la ingeniería que se ha dado en llamar control, un sistema que usa la información de su entorno para cambiar los patrones de su actividad (sistema abierto), da lugar a un fenómeno que puede llamarse aprendizaje. Wiener se ocupó de profundizar en el conocimiento sobre este automatismo, y estudió cómo reproducirlo en sistemas artificiales (ordenador). En otras palabras, planteó la posibilidad de diseñar máquinas capaces de aprender.

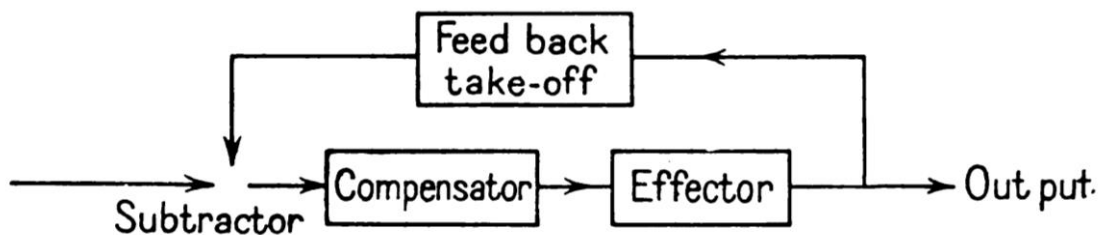


Figura 7. Esquema de un sistema elemental de retroalimentación. Fuente: (Wiener, 1948).

Al igual que Wiener, John von Neumann observó que existe una analogía entre el funcionamiento de la máquina y el cerebro. Esta observación le sirvió para entender la “anatomía” del ordenador, es decir, la organización o arquitectura de sus componentes, que comparó con la estructura del cerebro. En su texto póstumo *The Computer and the Brain* (1958), von Neumann afirmaba: “*The organization of large digital machine is more complex. They are made up of ‘active’ organs and of organs serving ‘memory’ functions -I will include among the latter the ‘input’ and ‘output’ organs*” (von Neumann, 1958, pág. 29). Al igual que el cerebro, el ordenador necesitaba de un “órgano” para recibir inputs (análogo a las neuronas sensoriales), y un “órgano” para los outputs (análogo a la neurona motora). Entre estos dos componentes debía haber un órgano para la memoria (*memory organ*) y un órgano basado en la lógica aritmética (*active organs*), que permitía efectuar las operaciones aritméticas (suma, resta, multiplicación o división), lógicas (conjunción, disyunción o negación) o físicas (restauración de los niveles de tensión en la máquina o señales de amplificación). Esencialmente, von Neumann separó la unidad de proceso (procesador), la unidad de control (registro de instrucciones) y la memoria de un ordenador. Este diseño lógico del ordenador, que hoy se denomina “arquitectura de von Neumann”, se integró en el *EDVAC* (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*, 1946), en el que se instaló el primer programa diseñado para ser almacenado en una memoria (Figura 8); en la *IAS machine*, el primer computador digital construido por el IAS (*Institute for Advanced Study*) en Princeton; en la *JOHNNIAC* (*JOHN von Neumann Numerical Integrator and Automatic Computer*, 1953), la primera computadora para aplicaciones civiles que se construyó en la RAND bajo la supervisión

de von Neumann, de ahí su nombre (Figura 9). Todas estas máquinas eran calculadoras electrónicas que tomaban como modelo el cerebro humano.

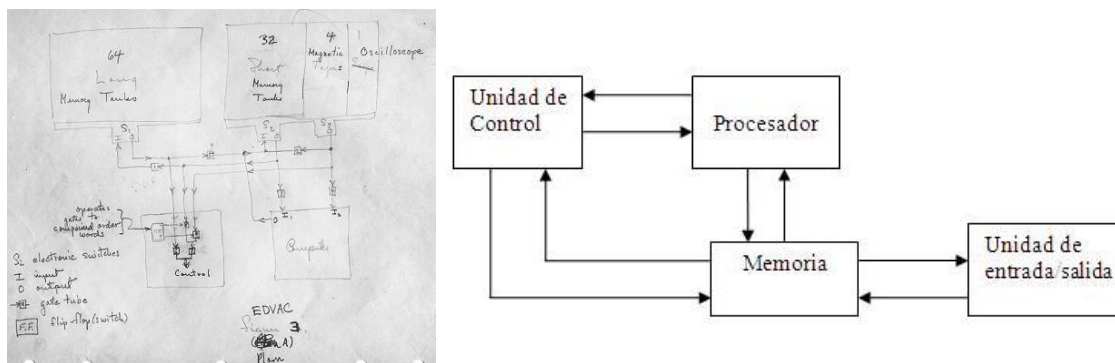


Figura 8. Arquitectura del EDVAC y diagrama de la arquitectura de von Neumann. Fuente: Penn Library.



Figura 9. Izquierda: John von Neumann y Robert Oppenheimer con la IAS Machine. Fuente: Fotografía de Alan Richards (1952), Institute for Advanced Study (IAS). Derecha: JOHNNIAC. Fuente: Fotografía de Ray Clewett (1966), Computer History Museum.

En medio de esta ambigüedad entre las estructuras de la naturaleza y de lo artificial, von Neumann persiguió que las máquinas se reprodujesen as í misma, como ocurre con los organismos en la naturaleza. El primer sistema auto-replicante (*kinematic model*) contenía los elementos para que de una máquina surgiese otra. Ante la imposibilidad de realizar un modelo tan complejo, von Neumann tuvo en cuenta las sugerencias de Stanislaw Ulam, que en aquel momento estaba investigando el crecimiento de los cristales usando como modelo un entramado bidimensional. Así, von Neumann desarrolló el primer autómat a auto-replicante en dos dimensiones, el denominado *Universal Copier and Constructor* (UCC), basándose en la replicación de células (*Cellular Automaton*). El proceso de reproducción se describía mediante reglas muy simples que establecían la relación con las células vecinas. El resultado de la reproducción era una copia del original junto con su descripción, de forma que su reproducción se podía repetir infinitivamente. En base a este sistema abierto, una máquina o célula operaba sobre otra modificando constantemente sus configuraciones (código) y operaciones (reglas), y al mismo tiempo modificando la totalidad del sistema. Estos estudios se recogieron en el libro *Theory of Self-Reproducing Automata*, completado por Arthur W. Burks y publicado como obra póstuma en 1966 (von Neumann, 1966).

El trabajo de Ross Ashby se basó en la “homeostasis”, es decir, la propiedad que tiene un organismo de adaptarse a los cambios de un ambiente concreto.²⁴ A partir de esta premisa, en su libro *Design for a brain: the origin of adaptive behavior* (1952), Ashby planteaba que el sistema nervioso funciona de manera adaptiva en base a un proceso que es esencialmente mecánico: “*The work has as basis the fact that the nervous system behaves adaptively and the hypothesis that it is essentially mechanistic; it proceeds on the assumption that these two data are not irreconcilable. It attempts to deduce from the observed facts what sort of a mechanism it must be that behaves so differently from any machine made so far. Other proposed solutions have usually left open the question whether some different theory might not fit the facts equally well: I have attempted to deduce what is necessary, what properties the nervous system must have if it is to behave at once mechanistically and adaptively*” (Ashby, 1960, pág. V). En su texto, Ashby ofreció una descripción detallada de la homeostasis y la estabilidad de los sistemas abiertos, recurriendo al concepto de auto-organización. Su intención era reproducir el fenómeno de la homeostasis por medio de la máquina. Así, realizó un artefacto electromecánico capaz de auto-regularse respecto a su entorno, un autómata adaptivo que llamó “homeostato”. El homeostato simulaba la capacidad de los seres vivos de mantener una situación de equilibrio interno (estabilidad fisiológica), aun cuando se daban fluctuaciones y cambios en su exterior (inestabilidad del entorno).²⁵ Gracias al flujo de energía entre el sistema y su entorno exterior, además de la comunicación entre las partes del sistema, el homeostato reproducía un sistema abierto que buscaba un estado de equilibrio dentro de un entorno inestable. De esta forma, Ashby redefinió la cibernética como el estudio de sistemas abiertos en cuanto a la energía y cerrados en cuanto a la información y al control. El homeostato reproducía la estructura y mecanismos de

²⁴ El proceso de homeostasis fue descrito por Walter Cannon a finales de la década de 1920. En su artículo “*Organization for Physiological Homeostasis*”, publicado en el año 1929 en la revista *Physiology Review*, Cannon afirmaba: “*The highly developed living being is an open system having many relations to its surroundings –in the respiratory and alimentary tracts and through surface receptors, neuromuscular organs and bony levers. Changes in the surroundings excite reactions in this system, or affect it directly, so that internal disturbances are produced. Such disturbances are normally kept within narrow limits, because automatic adjustments within the system are brought into action, and thereby wide oscillations are prevented and the internal conditions are held fairly constant. The term ‘equilibrium’ might be used to designate these constant conditions. That term, however, has come to have exact meaning as applied to relatively simple psycho-chemical states in closed system where know forces are balanced. [...] The present discussion is concerned with the physiological rather than the physical arrangement for attaining constancy. The coordinated physiological reactions which maintain most of the steady states in the body are so complex, and so peculiar to the living organism, that it is suggested that a specific designation for these states be employed – ‘homeostasis’*” (Cannon, 1929, pág. 2)

²⁵ En la base de la descripción del fenómeno de la homeostasis estaba la diferenciación entre el entorno interno y entorno externo. La idea de entorno interno (*milieu intérieur*) se debe a Claude Bernard, quien sostuvo: “*La fixité du milieu intérieur est la condition de la vie libre, indépendante : le mécanisme qui le permet est celui qui assure dans le milieu intérieur, le maintien de toutes les conditions nécessaires à la vie des éléments. [...] Tous les mécanismes vitaux quelque variés qu’ils soient, n’ont toujours qu’un seul but, celui de maintenir l’unité des conditions de la vie dans le milieu intérieur*” (Bernard, 1885, págs. 113-121). A partir de la diferenciación propuesta por Bernard entre “entorno interno” –células y órganos– y “entorno externo” –el mundo fuera del organismo–, se empezó a considerar que los organismos y las plantas, para poder sobrevivir, debían ser sistemas parcialmente independientes de su medio; esta independencia y estado estacionario interno se describía por medio del principio de la homeostasis.

funcionamiento del cerebro, por lo que, en su momento, se consideró lo más cercano a un cerebro sintético.

En la cibernética, los conceptos de control y comunicación están estrechamente relacionados entre sí. La comunicación implica la transmisión de información en forma de mensajes. Cuando la comunicación tiene lugar entre máquinas, la función del mensaje es la de controlar su funcionamiento. Cuando la comunicación se realiza entre seres humanos, su función es transmitir un significado. Claude Shannon se ocupó de entender los aspectos más técnicos de la transmisión del mensaje, definiendo las bases de una teoría pensada en función de la cibernética que pasaría a denominarse “teoría de la información”. Sus investigaciones se desarrollaron en un contexto muy específico, el de la necesidad de encontrar técnicas para mejorar la calidad de la comunicación en los sistemas en uso en aquel momento, el telégrafo y el teléfono. Por lo tanto, Shannon prescindió los aspectos semánticos de la comunicación, ya que son irrelevantes para la transmisión de la información.²⁶ En 1937 Shannon se ocupó en su tesis doctoral de aplicar las técnicas del álgebra lógica (Álgebra de Boole) a los circuitos eléctricos. Esta síntesis entre lógica matemática y electrónica fue fundamental para el diseño del ordenador digital. En el libro *The Mathematical Theory of Communication* (1949), escrito en colaboración con Warren Weaver, Shannon propuso un modo para cuantificar y medir la información que transporta un mensaje utilizando un código binario. Por medio de este código pretendía mejorar la velocidad en la creación y transmisión de los mensajes. Además, para la transmisión de un mensaje de la fuente hasta el receptor se necesita un canal de comunicación. La combinación del código y del canal se define como medio, el cual es capaz de convertir la información en mensaje y el mensaje en una señal transportable, haciendo posible el intercambio de información. No se produce un mensaje sin el medio. La aportación principal de esta síntesis entre lógica matemática y electrónica fue el teorema Shannon-Hartley, según el cual la manera de evitar el ruido en la comunicación es no exceder la capacidad del canal.

La cibernética puso en evidencia que muchas funciones humanas, entre ellas el funcionamiento del cerebro, se basan en procesos mecánicos y cíclicos que se rigen por la retroalimentación. Esto permitió investigar su funcionamiento por medio de la máquina. Otros científicos, sin embargo, fueron más allá de la analogía ordenador-cerebro, y plantearon una analogía ordenador-mente que influyó en el estudio de los procesos cognitivos. En esta segunda línea de investigación, el ordenador no se pensó como un dispositivo para ejecutar instrucciones con la finalidad del cálculo, sino más bien para procesar información. Los primeros avances importantes en este ámbito comenzaron a principios de la década de 1950 con el trabajo de Alan Turing. En el año 1956, durante la conferencia de Dartmouth, en la que participaron John McCarthy, Marvin Minsky,

²⁶ Etimológicamente, el término comunicación deriva del latín “*communicare*”, que puede traducirse como “poner en común”, “compartir algo”. Es entendido, en términos generales, como un proceso mediante el cual se puede transmitir una señal o información de una entidad a otra, alterando el estado de conocimiento de la entidad receptora. Por lo tanto, la comunicación involucra dos condiciones: la primera, que el mensaje contenga un significado; la segunda, que el receptor pueda entender el significado del mensaje. Sin embargo, en el trabajo de Shannon se produce una distinción importante entre el uso general de información y el uso técnico. Mientras que en general la información se asocia al significado, Shannon entiende la información como una unidad cuantificable que no tiene en cuenta el contenido del mensaje.

Nathaniel Rochester, Claude Shannon, Herbert Simon y Allen Newell, se decidió definir este campo de investigación como “inteligencia artificial”.

1.1.2.3 Inteligencia Artificial: aplicaciones del concepto moderno de sistema

Alan Turing fue uno de los primeros en reconocer que los ordenadores no son simplemente procesadores capaces de hacer cálculos numéricos, sino que su capacidad de procesamiento se extiende a los símbolos, y por tanto pueden simular procesos mentales. En 1935, Turing describió una clase de máquinas capaz de procesar información siguiendo unas instrucciones, sentando así las bases teóricas de la informática moderna. La máquina de Turing (*Turing Machine*) era un sistema teórico más que una tecnología de computación, que aludía a un dispositivo capaz de manipular símbolos de forma automática en base a un conjunto de reglas o algoritmo.²⁷ Aunque básico, el diseño de esta máquina fue suficiente para probar que un determinado conjunto de problemas no era computable, es decir, que no se podían describir por medio de un algoritmo. Sin embargo, la máquina de Turing podía calcular cualquier tipo de problema que se encontrara fuera de este conjunto; por consiguiente, se consideró “universal” (*Universal Turing Machine*, UTM). Así, una máquina física capaz de actuar como una máquina universal de Turing podría, en principio, realizar todas las operaciones de otras máquinas por medio de una serie de instrucciones. Aun cuando es físicamente imposible que existan estas máquinas, la completitud de Turing (máquina Turing completa) se atribuye a máquinas físicas o lenguajes de programación que podrían ser universales si tuvieran almacenamiento infinito y fueran absolutamente fiables. La primera de esas máquinas fue la Z3 de Konrad Zuse, que se controlaba por medio de programas.²⁸

Los estudios de Turing siguieron con la simulación de procesos cognitivos. En su artículo “Computing Machinery and Intelligence” (1950), Turing se preguntaba “*Can machines think?*” (Turing, 1950, pág. 433). Por ello, describía los patrones del razonamiento humano por medio de algoritmos, reglas y códigos, de forma que la máquina pudiera ejecutarlos. Turing quería demostrar que una máquina podía realizar tareas como las que realiza un ser humano. Para ello Turing esbozó un algoritmo para jugar al ajedrez, cuyas características fundamentales se implementaron en un programa similar desarrollado por Claude Shannon. En sus artículos “Programming a Computer for Playing Chess” (1950) y “A chess playing machine” (1950), Shannon describió un programa para el ajedrez que se basaba en la idea de elegir la mejor jugada evaluando las jugadas alternativas, sobre la base de un procedimiento de búsqueda conocido como

²⁷ Un algoritmo puede definirse como una serie de operaciones concatenadas o un conjunto de reglas que permiten alcanzar un resultado determinado. El concepto de algoritmo ha existido durante siglos, aunque actualmente se asocia a la programación de ordenadores: un algoritmo es una secuencia de operaciones que especifican como llevar a cabo una tarea. Una formalización parcial de lo que se convertiría en la definición moderna del algoritmo fue planteada por David Hilbert en 1928 y comenzó con sus intentos de resolver el “Entscheidungsproblem” (el “problema de decisión”). Formalizaciones posteriores intentaron definir la “calculabilidad efectiva” o “método eficaz”. Estas formalizaciones incluyen las funciones recursivas de Gödel-Herbrand-Kleene (1930-65), el cálculo lambda de Alonzo Church (1936), la “Formulation 1” de Emil Post (1936) y la máquina de Turing, cuya descripción se publicó en el artículo “On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem” (1937).

²⁸ En 1998, Raúl Rojas demostró que el Z3 es Turing completo, demostrando que una máquina de Turing con una cinta de tamaño finito puede ser simulada por el Z3. Por tanto, cualquier otro computador puede ser simulado por el Z3.

“minimax”. Básicamente, el juego del ajedrez se convirtió en caso de estudio para el análisis y reproducción de los procesos de toma de decisiones. El “test de Turing” era la prueba para demostrar la inteligencia en una máquina. La prueba consistía en averiguar si un evaluador, ubicado en una habitación distinta a las que se encontraban una persona y una máquina, era capaz de reconocer a partir de las respuestas a una serie de preguntas si la respuesta provenía de una máquina o de un ser humano. Si el evaluador no era capaz de llegar a una conclusión, el test se consideraba exitoso, ya que era la demostración de que una máquina podía pensar.²⁹ La construcción de programas que jugaban al ajedrez, así como el test de Turing, fueron promoviendo la idea que los ordenadores eran verdaderos procesadores simbólicos.

Entre las numerosas aplicaciones desarrolladas en el seno de la inteligencia artificial se pueden mencionar las redes neuronales artificiales –*artificial neuronal networks* (ANN)–, los sistemas expertos –*expert systems* (ES)–, y los sistemas de vida artificial –*artificial life*–. Las redes neuronales artificiales se plantean reproducir en un ordenador las funciones fisiológicas del cerebro.³⁰ Su primer modelo fue realizado en 1943 por Warren McCulloch y Walter Pitts (Figura 10), en el que una neurona se vinculaba a las otras a través de conexiones ajustables capaces de transmitir una señal eléctrica. La ventaja de las redes neuronales reside en la posibilidad de reproducir procesos cognitivos y de aprendizaje. Un sistema experto es un sistema para resolver problemas en un dominio específico como lo harían profesionales expertos, en base a reglas consolidadas o de sentido común (*rules of thumb*). La vida artificial es una rama de la investigación que busca reproducir el funcionamiento de los seres vivos, desde la creación de sistemas adaptivos, autómatas celulares hasta agentes autónomos (*agent-based systems*).

²⁹ Este tipo de test se sigue usando hoy en día para poder diferenciar si las operaciones son llevadas a cabo por la máquina o el hombre. Los test CAPTCHA (*Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart*), en los que se pide introducir letras o signos confusos antes de poder acceder a un proceso informático, son una prueba inversa de Turing; por medio de estos un ordenador intenta distinguir entre una persona y una máquina para evitar accesos de autómatas.

³⁰ Esta rama de la investigación se centra en la perspectiva biológica que describe el cerebro como un conjunto de unidades de procesamiento llamadas neuronas, una célula nerviosa que tiene la capacidad de sentir la presencia de un neurotransmisor químico en una de sus terminaciones y de realizar una neurotransmisión química a la otra extremidad. Considerando que hay 20 billones de células en el cerebro humano conectadas entre sí por medio de sinapsis, un estímulo generado por una célula puede generar unas señales que se amplifican y se distribuyen estimulando muchas otras células. El recorrido del estímulo y las células que se activan a lo largo del mismo están en la base del mecanismo cognitivo del hombre (el mecanismo de control en sistema abiertos se define aprendizaje), como asimismo de otros animales. Las redes neuronales artificiales están compuestas de unidades lógicas en lugar de neuronas, y de señales eléctricas en lugar de neurotransmisores químicos. Las redes neuronales artificiales aprenden comparando los patrones de entrada (input) con los patrones almacenados, y derivando información desde los patrones coincidentes (reconocimiento de patrones).

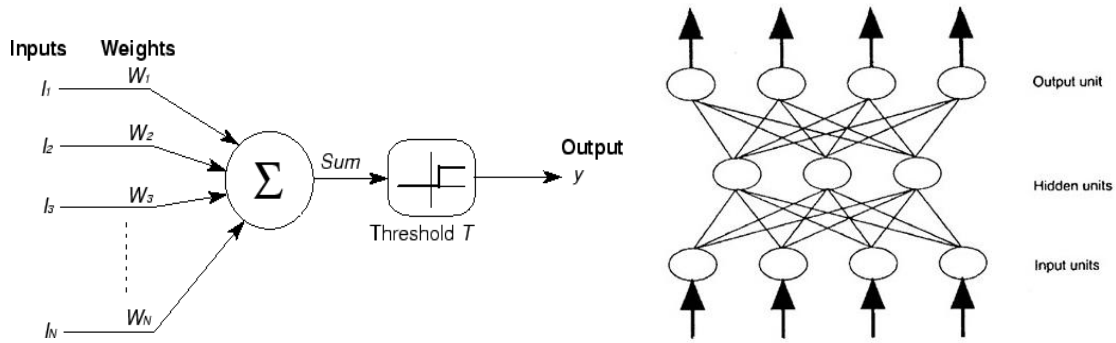


Figura 10. La neurona de McCulloch-Pitts es una unidad de cálculo que intenta modelar el comportamiento de una neurona del cerebro humano. La unidad lógica (UTLs) se compone de un nudo que realiza una suma ponderada de la información de entrada (I_j) por medio de pesos o valores (W_j). Si el valor resultante supera el umbral de la activación, el sígnal tiene valor 1, sino es igual a 0. Fuente: (Skyttner, 2005).

La inteligencia artificial tuvo gran interés para la psicología. Una vez demostrado que el ordenador podía ser un procesador simbólico, más allá de ser una potente calculadora, el mismo ordenador podía servir para explorar y entender la mente humana. Este fue el planteamiento de Herbert Simon y Allen Newell, quienes colaboraron estrechamente en el estudio de la resolución de problemas, definiendo una corriente de la psicología de la cognición que se definió como “psicología del procesamiento de la información” –*information processing psychology* (IPP) (Newell & Simon, 1972). A diferencia de los experimentos de Turing, quien planteaba la posibilidad de que una máquina pudiese resolver un cierto tipo de problemas computables tan bien como lo haría un humano, Simon y Newell intentaron extender la capacidad del ordenador a cualquier tipo de problema. Desde esta perspectiva, se interesaron en averiguar si el ordenador podía tomar decisiones como lo haría una persona, un proceso que no siempre se basa en la lógica y que más bien tiende a la adopción de reglas de sentido común y de la existencia de un conocimiento previo. En 1955, Simon y Newell crearon lo que se considera como el primer programa de inteligencia artificial, el *Logic Theorist*, capaz de demostrar teoremas matemáticos de modo automático. En 1957, crearon un programa de ordenador supuestamente capaz de resolver problemas de carácter general, el *General Problem Solver* (GPS), que podía resolver solo problemas que pudieran ser enunciados de un modo no ambiguo, como el juego del ajedrez (Figura 11). No obstante, pese a que el ajedrez puede plantearse como una búsqueda en un espacio de soluciones bien definido, Simon y Newell demostraron que dicha búsqueda no puede llevarse a cabo recurriendo exclusivamente al cálculo, debido a la explosión combinatoria de las jugadas posibles que surgen en determinadas situaciones. Así, llegaron a la conclusión que esta búsqueda no puede estar basada en algoritmos, sino que más bien debe ser dirigida por principios genéricos que recurren a la analogía o la inducción, cuya conveniencia no se puede conocer de antemano. Así, propusieron realizar búsquedas selectivas basadas en “heurísticas”,³¹ esto es, una búsqueda basada en reglas de sentido común. Por este

³¹ El término heurística viene del vocablo griego *heuriskein*, que significa “encontrar buscando” o “descubrir”. Allan Newell hizo su licenciatura en Física en Stanford, donde conoció el concepto de heurística a través de su profesor Georg Polya, quien fue responsable de introducir este concepto en la

motivo, este programa estaba provisto de un mecanismo de análisis medios-fines, que aplicaba una serie de principios o reglas para alcanzar una meta (compara tal estado y tal estado para obtener diferencias cuantificables entre ambos, aplica una operación que reduzca la diferencia entre el estado actual y estado deseado). Este sistema debía contar con una especificación de las reglas (medios) y las metas (fines).

Estos estudios sobre los procesos de resolución de problemas estimularon la idea de que también el diseño, es decir el proceso de concepción que precede la realización de cualquier artefacto, no era radicalmente distinto de otras actividades cuya tarea era resolver problemas. Es decir, que un diseño es también la solución a un problema que hay que definir previamente con precisión. Este planteamiento condujo a la formulación posterior de una “ciencia del diseño”.



Figura 11. Herbert Simon y Allen Newell. Fuente: Fotografías anónimas (1958), Computer History Museum.

1.1.3 Ciencia de lo artificial

Aunque los principales avances tras la guerra estuvieron más relacionados con el desarrollo tecnológico que con descubrimientos científicos, aquellos no hubiesen sido posible sin los avances en la ciencia. Así, no se puede demarcar un límite exacto entre la ciencia y la tecnología, ya que ambas se complementaron para abrir una nueva etapa en el desarrollo científico. Sin embargo, la diferencia entre los dos ámbitos, el científico y el tecnológico, es sustancial. La ciencia aspira a producir un modelo descriptivo de los fenómenos de la naturaleza, a partir de un proceso de descubrimiento del fenómeno y de explicación del mismo. La tecnología, por otro lado, aspira a transformar la realidad. En la frontera entre la ciencia y la tecnología se sitúan las ciencias aplicadas puesto que su tarea no es transformadora de lo real ni meramente concedora de lo existente; las ciencias aplicadas, como la economía, administración o medicina, buscan resolver

inteligencia artificial. Polya definía la heurística como un procedimiento provisional útil para solucionar cierta clase de problemas. En su texto *How to solve it* (1945), Polya propuso diversos tipos de heurísticas: la analogía (resolver un problema en analogía a un problema similar); la generalización (resolver un problema en analogía a un problema más general); la inducción (solucionar un problema derivando una generalización de otros ejemplos); y la variación (solucionar el problema cambiándolo de manera que la solución al nuevo problema puede ser útil para resolver el problema original).

problemas concretos y están orientadas a conseguir objetivos determinados. En esta frontera entre ciencia y tecnología se situó también la “ciencia de lo artificial”, cuyo objeto de estudio no eran la naturaleza sino las creaciones humanas. En el marco de esta nueva ciencia, el diseño, es decir la actividad intelectual que precede a la realización de un producto, devino un objeto de estudio, al que se dotó de estatus científico (diseño como ciencia).³²

1.1.3.1 El diseño científico: diseño como proceso racional y métodos de diseño

En la década de 1960, el diseño dejó de ser considerado como un arte, como lo había sido desde el *Arts and Crafts* (1861-1914) hasta la *Bauhaus* (1919-1933), para pasar a ser parte del conocimiento científico. Este camino se inició en la *Hochschule für Gestaltung* (HfG) en Ulm,³³ en la que se impartían clases de procedimientos matemáticos, investigación de operaciones y ergonomía, en vez de asignaturas de carácter artístico, ya que los diseñadores se empezaban a enfrentar a encargos muchos más complejos que la realización de muebles, joyas y lámparas. Tomás Maldonado rechazaba que el diseño fuese exclusivamente una cuestión de estética: “*The aesthetic factor merely constitutes one factor among others with which the designer can operate, but it is neither the principal nor the predominant one. The productive, constructive, economic factors – perhaps, too, the symbolic factors – also exist. Industrial design is not an art nor is the designer necessarily an artist*” (Maldonado, 1958, pág. 31). La intención de Maldonado era formar diseñadores que pudiesen abordar la creación en cualquier campo. Así, mientras que en el período entre 1920 y 1930 el objetivo era crear un “producto de diseño” racional (fruto de la estética racionalista), en la década de 1950 se trataba de llevar a cabo un “proceso de diseño” racional.

El estudio de “métodos de diseño” que se inició en la escuela de Ulm luego se desarrolló en conferencias y eventos que dieron lugar al *design methods movement* (1962-1972). Oficialmente, el movimiento de los métodos de diseño surgió cuando Bruce Archer, quien fue profesor en la HfG, y su alumno John Christopher Jones organizaron *The Conference on Systematic and Intuitive Methods in Engineering, Industrial Design, Architecture and Communications* (1962), en el Imperial College de Londres.³⁴ Los

³² En su texto *Designerly Ways of Knowing: Design Discipline Versus Design Science* (2001), Nigel Cross distingue entre diseño científico (*Scientific Design*), diseño como ciencia (*Design Science*) y ciencia del diseño (*Science of Design*), conceptos todos ellos que relacionan el diseño y la ciencia (Cross, 2001, págs. 97-99).

³³ La HfG fue fundada en 1953 por Inge Aicher-Scholl, Otl Aicher y Max Bill. Como primer rector de la escuela, Bill propuso un programa de estudios inspirado a la filosofía de la *Bauhaus*. En 1956, Bill fue sustituido por un consejo de dirección presidido por Tomás Maldonado, que se orientó en una línea mucho más rigurosa y científica. En 1962 fue designado como rector Otl Aicher; le sucedió Maldonado en 1964 y Herbert Ohl en 1966. En esta segunda época dominada por la presencia de Maldonado, el arte y la intuición sobre los que se fundamentó el programa de Bill, fueron remplazados por una metodología analítica. La escuela cerró en 1968.

³⁴ Las conferencias sobre los métodos de diseño se organizaron hasta la década de 1970. Las principales fueron: *Symposium on the Design Method* (1967), organizado en Portsmouth por Geoffrey Broadbent y Tony Ward; *The Design Methods Group First International Conference* que tuvo lugar en Cambridge (1970,1973); *Environmental Design Research Association* (EDRA) organizada en Chapel Hill por Sanoff and Cohm (1970), en Pittsburgh (1970) por Archa y Eastman, en Los Angeles (1972) y Blacksburgh (1973) por William Mitchell.

métodos de diseño se pensaron como una solución para los complejos problemas de planificación o de transporte, en los que se requería una lógica estricta, más que la aplicación de principios estéticos. Estos métodos servían para llevar a cabo las diversas actividades que formaban parte del proceso de diseño, entendido como un proceso sistemático. Con este fin, Jones estableció una analogía entre un diseñador y un dispositivo cibernético: “*From the creative viewpoint the designer is a ‘black box’ out of which comes the mysterious creative leap; from the rational viewpoint the designer is a ‘glass box’ inside which can be discerned a completely explicable rational process*” (Jones, 1970, p. 46). A diferencia del diseño tradicional, cuyo proceso no se podía describir (*black-box*), el diseño racional se basaba en un proceso sistemático (*glass-box*), en una serie de procedimientos formulados en un lenguaje que podía ser interpretado por un ordenador (Figura 12). El diseño racional podía así explicitarse, explicarse como una secuencia de actividades –análisis, síntesis y evaluación– que trascendían la subjetividad del diseñador. De esa manera, se podrían justificar de manera objetiva las decisiones de diseño, facilitar la organización entre los diversos profesionales que intervenían en el mismo, y conseguir diseños más eficientes.³⁵

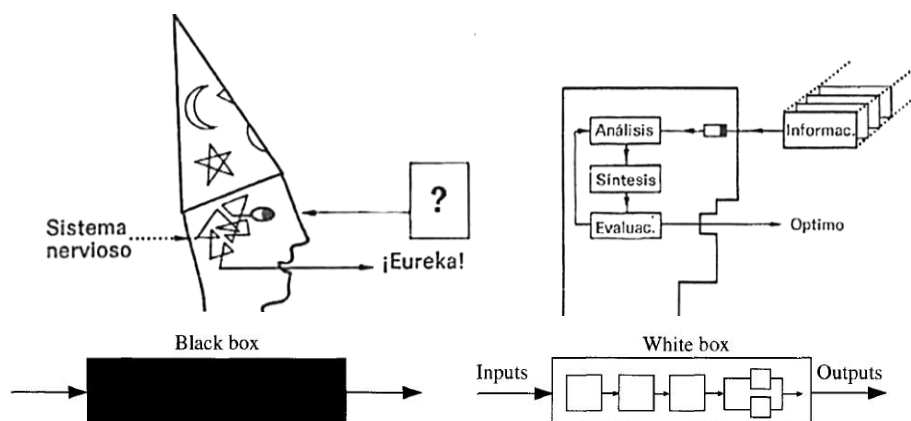


Figura 12. El diseñador como caja negra (*black-box*) y el diseñador como caja transparente (*glass-box*). Fuente: (Jones, 1970).

En su texto *Systematic Methods for Designers* (1965), Archer afirmaba que: “*The most fundamental challenge to conventional ideas on design has been the growing advocacy of systematic methods of problem solving, borrowed from computer techniques and management theory, for the assessment of design problems and the development of design solutions*” (Archer, 1965, p. 2). Al igual que Archer, Horst Rittel creía que los métodos eran una forma para: “[...] *attacking problems of planning in a rational, straightforward, systematic way, characterized by a number of attitudes which a systems*

³⁵ Jones afirmaba: “*A major advantage of bringing design thinking into the open is that other people, such as users, can see what is going on and contribute to it information and insights that are outside the designer's knowledge and experience*” (Jones, 1970, p. 45). Además, sugería que: “*An equally good reason for externalizing design thinking is to make possible design automation, i.e. the use of computers to speed up those parts of the design process for which the thinking is sufficient well understood to be represented by a mathematical model or process*” (Jones, 1970, p. 61). En definitiva, Jones no estaba planteando solamente la utilización del ordenador como instrumento de diseño, sino que el mismo proceso de diseño pudiese reproducirse por completo al ordenador.

analyst and designer should have” (Rittel, 1972, pág. 390). En una entrevista, Rittel puntualizaba: “*The reason for the emergence of design methods in the late '50s and early '60s was the idea that the ways in which the large-scale NASA and military-type technological problems had been approached might profitably be transferred into civilian or other design areas*” (Rittel, 1972, pág. 143).³⁶ En definitiva, los inspiradores del movimiento de los métodos de diseño sostenían que las dificultades que surgen en torno a un diseño se habían vuelto demasiado complejas para afrontarlas de forma puramente intuitiva, por lo que había que recurrir a métodos analíticos.

1.1.3.2 El diseño como ciencia: el método del diseño

En 1957 Buckminster Fuller acuñó el término *design science* para impulsar la aplicación de principios científicos al diseño (Buckminster Fuller, 1957). El término *design science* fue retomado más tarde por Sidney Gregory en el *Symposium on the Design Method* (1965), para referirse explícitamente al diseño como una actividad científica, y no solo como la aplicación de conocimientos científicos. En el marco de esta nueva ciencia, “el método de diseño” es un procedimiento común en cualquier proceso creativo: “[...] *a process the pattern of which is the same whether it deals with the design of a new oil refinery, the construction of a cathedral, or the writing of Dante's Divine Comedy [...] This pattern of work, conscious or unconscious, is the design method*” (Gregory, 1966, pág. 3). El método de diseño se basaba en explicitar los objetivos que se quieren alcanzar por medio del diseño (problema), para luego decidir cómo deben ser los productos (solución) que cumplan con estos objetivos. Así, el método de diseño era un procedimiento explícitamente organizado, racional y sistemático que cumplía el mismo papel que el método científico en las ciencias naturales, aunque con propósitos distintos: “*The scientific method is a pattern of problem-solving behavior employed in finding out the nature of what exists, whereas the design method is a pattern of behavior employed in inventing things of value which do not yet exist. Science is analytic; design is constructive*” (Gregory, 1966, pág. 6). Gregory aclaraba que, a diferencia del método científico que se empleaba para comprender la realidad, el método de diseño se empleaba para crear una nueva. Se establecía así un paralelismo según el cual el método científico era a la ciencia lo que el método de diseño era al diseño.

³⁶ Otras afirmaciones más recientes confirman esta trasposición de métodos y técnicas desde el ámbito militar al civil. Acerca de esto, Nigan Bayazit sostenía: “*After World War II, the new techniques that had been used in the design and development of arms and wartime equipment, and the methods and techniques used in developing many new inventions, attracted many designers. Creativity methods were developed mainly in the U.S. in response to the launching of the first satellite, the Soviet Union's Sputnik*” (Bayazit, 2004, pág. 17). Por otra parte, Nigel Cross sostenía que los métodos de diseño nacieron de la necesidad de resolver los nuevos problemas de diseño surgidos después de la Segunda Guerra Mundial: “*The origins of this emergence of new design methods in the 1960s lay in the application of novel, scientific and computational methods to the novel and pressing problems of the Second World War -from which came civilian developments such as operations research and management decision-making techniques*” (Cross, 2001, págs. 49-50).

1.1.3.3 La ciencia de diseño: el estudio científico del diseño

Más allá de la tentativa de definir el diseño como una actividad científica, el diseño se convirtió en el objeto de estudio científico. Esto dio lugar a una nueva rama de la ciencia que tenía por objetivo mejorar la comprensión del diseño a través de métodos de investigación científicos. Herbert Simon propuso un nuevo campo de investigación que se denominó “ciencia de lo artificial”, es decir, el estudio científico de las creaciones humanas.³⁷ En su introducción al texto *The Sciences of the Artificial* (1969), Simon afirmaba: “*Natural science is knowledge about natural objects and phenomena. We ask whether there cannot also be ‘artificial’ science knowledge about artificial objects and phenomena*” (Simon, 1969, pág. 3). Mientras que a la ciencia le interesa el “análisis” de lo existente, la ciencia de lo artificial se ocupa de la “síntesis”, es decir, de la creación: “*We speak of engineering as concerned with ‘synthesis’, while science is concerned with ‘analysis.’ Synthetic or artificial objects and more specifically prospective artificial objects having desired properties are the central objective of engineering activity and skill. The engineer, and more generally the designer, is concerned with how things ought to be how they ought to be in order to attain goals, and to function*” (Simon, 1969, pág. 23). Al ocuparse de cómo deberían ser las cosas, más que de cómo son, la ciencia de lo artificial daba lugar a una “ciencia del diseño”. Esto era la ciencia de una ciencia.

El objetivo de la ciencia de diseño que Simon proponía era estudiar los principios y los procedimientos del diseño, pero también la naturaleza del objeto de diseño. Sobre la naturaleza de los artefactos, Simon afirmaba que sus propiedades específicas hay que buscarlas en la estrecha interfaz que separa las leyes naturales existentes dentro del artefacto mismo y las que están fuera de él. Así, la ciencia de lo artificial se ocupaba de estudiar esta frontera: “*The kernel of the problem lies in the phrase ‘artificial science’. [...] The peculiar properties of the artifact lie on the thin interface between the natural laws within it and the natural laws without. What can we say about it? What is there to study besides the boundary sciences those that govern the means and the task environment? The artificial world is centered precisely on this interface between the inner and outer environments; it is concerned with attaining goals by adapting the former to the latter. The proper study of those who are concerned with the artificial is the way in which that adaptation of means to environments is brought about and central to that is the process of design itself*” (Simon, 1969, pág. 113). Entendido como un sistema con unos objetivos a conseguir (*inner environment*) en un determinado entorno (*outer environment*), un artefacto podía asimilarse a los sistemas adaptativos naturales que poseen un mecanismo de control propio mediante el cual resultan capaces de autocorregir sus acciones para lograr un estado de equilibrio dinámico entre su estructura interna y el entorno exterior (homeostasis). A diferencia de los sistemas naturales, los sistemas artificiales requieren de un actor externo, el ser humano, que pueda organizarlos de

³⁷ Sobre el uso del término “artificial” Simon argumentaba: “*Unfortunately the term ‘artificial’ has a pejorative air [...] But you will have to understand me as using ‘artificial’ in as neutral a sense as possible, as meaning man-made as opposed to natural. In some contexts we make a distinction between ‘artificial’ and ‘synthetic.’ [...] As soon as we introduce ‘synthesis’ as well as ‘artifice,’ we enter the realm of engineering. For ‘synthetic’ is often used in the broader sense of ‘designed’ or ‘composed.’*” (Simon, 1969, págs. 3-5).

manera que puedan cumplir con sus objetivos, es decir, funcionar. Así, la cuestión esencial del estudio de lo artificial es la adaptación al entorno.

Al hilo de las diferencias entre las ciencias naturales y las ciencias de lo artificial, Simon investigó hasta qué punto las formas de razonamiento aplicadas a las ciencias naturales, como la lógica declarativa, eran adecuadas para formalizar una lógica del diseño. Examinando cómo procedían los diseñadores, Simon argumentó que su lógica podía asimilarse con la de los métodos de optimización empleados en el campo de la investigación operativa (IO), y de la inteligencia artificial (IA). Los métodos de la IO podían constituir un marco lógico para la selección racional entre diversas alternativas dadas, pero imponían sobre el problema una considerable estructura matemática para encontrar la solución óptima.³⁸ Los métodos de la IA (búsqueda heurística o basada en reglas de sentido común), eran un marco lógico para el descubrimiento de alternativas que permiten encontrar soluciones satisfactorias, pero no óptimas.³⁹ Evidentemente, nadie se conforma con lo “bastante bueno”, cuando puede obtener lo óptimo, pero no es así como se suele plantear el problema en una situación real de diseño. Así, Simon asimiló la lógica del diseño a un proceso de toma de decisiones basado en una “racionalidad limitada”, ya que está limitado por el ámbito en el que se busca una solución. La racionalidad del diseño no es absoluta, sino se basa en la capacidad de buscar, y encontrar, soluciones aceptables a un problema. En definitiva, Simon aspiraba a mejorar la eficiencia del diseño asimilándolo a la resolución de un problema para así poder aplicar las técnicas y herramientas desarrolladas previamente en el ámbito de la investigación operativa.

³⁸ La programación lineal (PL) es un proceso de determinación de la solución óptima respecto a un criterio único. La lógica de base es la identificación, entre las propuestas que satisfagan unas restricciones o límites impuestos (espacio de las soluciones), de aquella que maximiza el logro del objetivo (función de utilidad). La condición para que se pueda aplicar esta técnica es que el problema pueda representarse por medio de funciones lineales.

³⁹ El método prueba y error (*Trial-and-Error*) describe un procedimiento mediante el cual se buscan propuestas de diseño en base a un proceso combinatorio casual y se comparan con el objetivo (*random*); cada prueba se hace de forma independiente de los resultados de las pruebas anteriores. El método generación y prueba (*Generate-and-Test*) es un proceso de prueba y error donde los resultados de una prueba se usan explícitamente para guiar los ciclos sucesivos. El análisis medios-fines (*Means-End Analysis*) es un método que se basa en la reducción de diferencias entre el estado actual y la meta deseada, considerando unas reglas de combinación (*means*) y teniendo claro el objetivo (*end*).

1.2 Metodología del diseño basado en prestaciones

En el contexto de la ciencia de lo artificial, en la que confluyeron los conocimientos de la teoría de la toma de decisiones y otras ciencias aplicadas, se propuso una metodología capaz de garantizar el “éxito” del diseño, es decir el cumplimiento de los resultados esperados. Esta metodología, el diseño basado en prestaciones (DBP), se basa en una sucesión de etapas: definición de objetivos (análisis), generación de posibles alternativas a partir de los objetivos planteados (síntesis) y elección de una de ellas (evaluación). Al igual que otras metodologías construidas sobre la base de un proceso de diseño racional, el DBP se centra más en la comprensión del problema de diseño que en la generación de la solución. Pero el DBP se distingue además por poner el énfasis en la definición cuantitativa de los objetivos de diseño, en forma de requisitos de las prestaciones (*performance requirements*), en la predicción de las prestaciones de las alternativas (*performance specifications*) y en la verificación del cumplimiento de los requisitos planteados. Por tanto, la elección de una propuesta de diseño es un proceso que pasa por la predicción y evaluación de las prestaciones de todas las alternativas posibles y la identificación de aquella que pueda cumplir mejor con los requisitos preestablecidos. Básicamente, esta metodología trata de explicitar las razones por las que se elige una opción u otra para conseguir objetivos igualmente explícitos.

1.2.1 El concepto de prestación en el diseño

El concepto clave que está en la base del DBP es la definición clara y concisa de los resultados que se quieren alcanzar en forma de requisitos de prestaciones. En su texto *Performance by Design* (2007), Ryan Watkins sostuvo que la definición de los resultados esperables es un aspecto esencial para su obtención: “*If we want to accomplish explicit and valuable results, then we must select, design, and develop the necessary support systems with a principal focus on performance. In other words, we must know which results we want to achieve*” (Watkins, 2007, pág. 2). La definición de estos resultados es una forma de “predicción”, en el sentido que es una anticipación de lo que se quiere lograr por medio del diseño. Watkins añade: “*Hence, when designing and developing initiatives that are intended to improve performance, we must start the process with a clear and measurable definition of what results are to be accomplished. Only with comprehensive and unambiguous definitions of the results to be achieved can you make decisions about which performance technologies will accomplish those results. Separating performing from desired performance is thus essential to success; it shifts initial focus from means (i.e., performing) to ends (i.e., performance)*” (Watkins, 2007, pág. 2).⁴⁰ En definitiva, el

⁴⁰ Según Watkins, los modos, procesos y herramientas no aseguran que se alcancen los resultados deseados (Watkins, 2007, pág. 6). Ryan Watkins distingue dos posiciones con respecto al diseño: el diseño basado en los medios, actividades y procesos (*performing*), y el diseño basado en los fines, logros y éxitos (*performance*). Así afirma: “*When we make decisions based on non-systematic processes or determine what we want to do before we define the results we want to achieve; we are focusing our attention on the performing rather than on the performance*” (Watkins, 2007, págs. 1-2). Watkins describe una serie de ejemplos que pueden ayudar a entender la diferencia que hay entre centrarse en los “medios” o en los “fines” para alcanzar determinados objetivos. Por ejemplo, se puede decidir comprar un coche nuevo con la esperanza de hacer un viaje más cómodo hacia la oficina, o seguir una nueva dieta con la intención de

proceso del diseño basado en prestaciones comienza por el “final”, es decir por la definición de los resultados que se quieren lograr a través del diseño, más que por los modos y medios para alcanzarlos. Una vez definidos los resultados que se quieren alcanzar, deben organizarse las actividades que permiten conseguir un objeto que los cumpla. A saber, la definición de una propuesta capaz de satisfacer unos resultados, la evaluación y verificación de que la propuesta efectivamente cumple con ellos. Estas actividades se organizan según un orden lógico y temporal comparable al modelo de resolución de problemas: al problema, que se entiende como la definición de los objetivos o requisitos, le sigue una propuesta capaz de cumplir con ellos, es decir la solución. En el ámbito del diseño, sin embargo, los objetivos y la propuesta son formulados en dos lenguajes diferentes: los objetivos son conceptos funcionales que habitualmente se expresan en términos verbales; la propuesta se expresa por medio de especificaciones técnicas. Se trata de dos maneras de describir el objeto de diseño: los objetivos especifican el “qué” y el “porqué”, mientras que una propuesta especifica el “cómo”. Esta diferencia de lenguajes hace difícil determinar la correspondencia entre uno y otro, entre los objetivos y un diseño, lo que imposibilita la propia evaluación del cumplimiento de los objetivos (Figura 13).

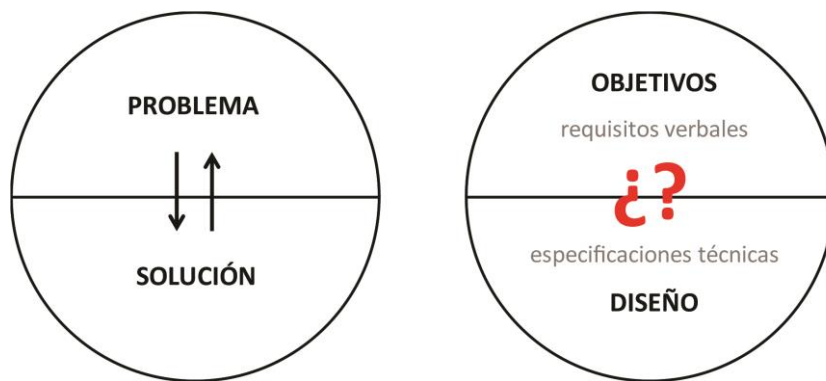


Figura 13. Trasposición del planteamiento general de resolución de problemas al diseño y dificultad de evaluación de la propuesta de diseño frente a los objetivos. Fuente: Gráfico de elaboración propia.

Para verificar si un diseño puede cumplir con unos objetivos es necesario que ambos componentes, objetivos y propuestas, se expresen en un lenguaje común. Por el lado del problema, los requisitos o conceptos funcionales deben traducirse en expresiones cuantitativas de las prestaciones que se esperan de un sistema o requisitos de rendimiento (*performance requirements*). Por el lado del diseño, las especificaciones técnicas deben traducirse en especificaciones del rendimiento (*performance specifications*), es decir, en la expresión cuantitativa del funcionamiento de la propuesta. De esta forma, el proceso

perder peso, o cepillarse los dientes todas las noches para evitar la formación de caries. Sin embargo, cuando la atención se centra en las actividades y herramientas (en este caso el coche, la dieta o el cepillado de dientes) en lugar de en los logros deseados (mayor comodidad, una figura más delgada y dientes sanos), rara vez se consiguen los resultados esperados. Es probable que se tenga en cuenta la potencia del coche y no las condiciones de tráfico, que se elija una dieta no apropiada que produzca una reducción de los líquidos y no del volumen, o que el uso del cepillo no evite que se produzcan nuevas caries. Este mismo razonamiento se puede aplicar al diseño: centrando la atención en los modos, los procesos o las herramientas, es probable que no se cumpla con los objetivos.

evaluativo y de verificación entre los objetivos y la propuesta, se produce por medio de un lenguaje común, un “lenguaje de la prestación”–*performance language* (Szigeti & Davis, 2005)–. En definitiva, el diseño basado en prestaciones representa una parte del proceso general de resolución de problemas (Figura 14).



Figura 14. La traducción de los objetivos en requisitos de rendimiento y de propuesta en especificaciones de rendimiento define un nivel de compatibilidad para la evaluación, definido como “lenguaje de la prestación”. Fuente: Gráfico de elaboración propia.

Este modelo del proceso de diseño basado en prestaciones se caracteriza por ser:

- Escalable: es un proceso sistemático que puede aplicarse a las diversas escalas y dimensiones de un problema de diseño, ya sea un producto tecnológico, una organización o una sociedad.
- Reproducible: el proceso puede repetirse en cualquier contexto en el que se requiera una toma de decisiones, independientemente del impacto que puedan tener.
- General: el proceso no depende del objeto de diseño, puede aplicarse para mejorar las prestaciones de un artefacto o una tecnología.
- Interdisciplinar: el proceso facilita la intervención de los diversos participantes (profesionales o no) implicados en la toma de decisiones (*stakeholders*).

En definitiva, el diseño basado en prestaciones proporciona una lógica que puede adaptarse a cualquier escala o grado de complejidad del problema. Su reproducibilidad y adaptabilidad es especialmente útil en el caso del diseño de una tecnología o un sistema físico, cuya definición implica la toma de muchas decisiones, desde su concepción hasta su fabricación y puesta en uso.

1.2.2 Las etapas del diseño basado en prestaciones

La metodología del diseño basado en prestaciones consiste en una serie de actividades ordenadas: definición de requisitos de prestaciones (*performance requirements*) a partir de los objetivos de diseño; generación de alternativas y cálculo de sus prestaciones (*performance specifications*); evaluación de la precisión con la que diversas alternativas cumplen con los requisitos de las prestaciones. Para llevar a cabo la evaluación, hay que predecir o calcular el rendimiento de cada propuesta, transformando las variables o parámetros de diseño en variables de rendimiento. De acuerdo con este planteamiento, la evaluación reviste la máxima importancia, ya que vincula y retroalimenta dos actividades separadas, análisis y síntesis, buscando la correspondencia entre ellas (*feedback*). Así, por medio de la evaluación el diseño adopta la forma de un proceso cíclico (Figura 15).

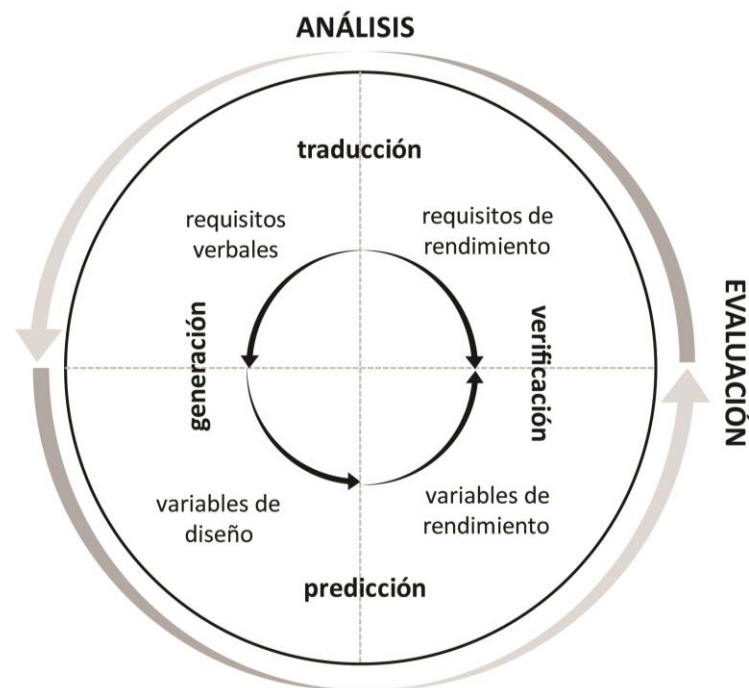


Figura 15. Representación del proceso de diseño basado en prestaciones. Fuente: Gráfico de elaboración propia.

1.2.2.1 Análisis: definición de requisitos de prestaciones

El primer paso del diseño basado en prestaciones consiste en el análisis del estado existente y la descripción del estado futuro deseado, es decir las metas y objetivos que se pretenden alcanzar por medio del diseño. Los objetivos son una afirmación concisa acerca de las metas o resultados deseables. Tal como sostiene Nigel Cross: “*The design objectives might also be called client requirements, user needs or product purpose. Whatever they are called, they are the mixture of abstract and concrete aims that the design must try to satisfy or achieve*” (Cross, 2000, pág. 61). Pero el problema de diseño consiste también en fijar unos límites, es decir identificar los obstáculos que puedan impedir el logro de unos objetivos establecidos y que, a su vez, resulten afectados por

estos mismos objetivos. Por tanto, el objetivo de un diseño es cumplir con los objetivos dentro de los límites o restricciones impuestas.

Jones definió la actividad de análisis como la etapa de “divergencia” del proceso de diseño –*divergence* (Jones, 1970, p. 64)–. De hecho, el objetivo del análisis es descomponer el problema en problemas más pequeños, sub-problemas u objetivos. Este análisis es útil para organizar los objetivos de forma que se pueda representar el problema de diseño como un espacio en el que hay que encontrar la solución. Una manera de representar el problema de diseño es el árbol de objetivos (*objective tree analysis*), esto es, una representación diagramática que permite mostrar las relaciones entre diferentes objetivos a partir de su dependencia jerárquica (Figura 16).

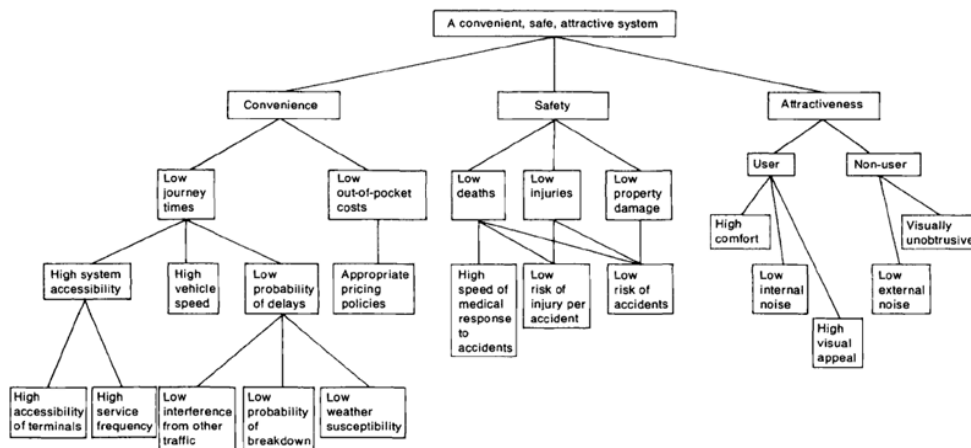


Figura 16. Organización o taxonomía de objetivos (*objectives tree*) para un nuevo sistema de transporte. Fuente: (Cross, 2000).

Un método para identificar los objetivos o requisitos consiste en generar un listado con todos los factores que inciden en el diseño e identificar las relaciones entre ellos mediante una matriz de interacción (*interaction matrix*) (Figura 17). Para cada pareja de factores que interactúan se define un requisito de diseño. Luego, se puede establecer la prioridad entre los diversos requisitos por medio de una matriz de ponderación (*weighting chart*) que indica la relevancia de cada elemento del par (una cruz cuando el factor de la fila es más importante del correspondiente en la columna). De esta manera, el factor que resulte con el valor inferior es el más importante (Figura 17). La prioridad entre requisitos es útil en una fase posterior, para decidir entre las diversas propuestas.

Factores	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1				+				+	
2			+			+			+
3							+		+
4				+				+	
5									+
6									
7									+
8									
9									

Factores	1	2	3	4	5	6
1 C		+	+			+
2 F						
3 D			+			+
4 A	+	+	+		+	+
5 B	+	+	+			+
6 E			+			
Totals	2	5	3	0	1	4

Total	0	1	2	3	4	5
Factor	A	B	C	D	E	F

Figura 17. Izquierda: matriz de interacción. Derecha: matriz de ponderación. Fuente: (Jones, 1963).

Una vez definidos los objetivos, estos deben traducirse en requisitos o especificaciones de prestaciones –*performance requirements* (PR), *performance specification* (P-spec)–, es decir, unas indicaciones sobre cómo se pretende alcanzar los objetivos. Tal como afirma Cross, los requisitos de prestaciones no definen una solución de diseño, más bien establecen lo que un producto debe lograr: “[...] *what a product must do; not what it must be*” (Cross, 2000, pág. 95). A diferencia de los atributos específicos de una solución, los requisitos de prestaciones son independientes de cualquier descripción (dimensiones, material, etc.), y se expresan en términos más generales para guiar en la definición de una solución (por ejemplo, “el material no debe tener una superficie porosa y debe ser fácil de limpiar”, y no “el material debe ser mármol”). En una línea similar, John Christopher Jones se refería a los requisitos de prestaciones en estos términos: “*Complete separation of problem from solution can only be achieved if the requirements are expressed purely in terms of performance and with no reference whatever to shape, materials and design. To do this each requirement is rewritten as a performance specification (or P-spec)*” (Jones, 1963, págs. 19-20).

A cada requisito de prestación se pueden asociar uno o más indicadores de la prestación–*Performance Indicator* (PI) o *Key Performance Indicator* (KPI)–; esto es, métricas que indican qué aspectos del producto/sistema hay que medir para verificar el grado de cumplimiento con los requisitos de prestaciones: “*A performance indicator can be defined as an item of information collected at regular intervals to track the performance of a system. [...] indicators are not perfect measures, without error or problems of definition and interpretation, but they are important pointers to the functioning of the system and keeping track of them is one aspect of quality control*” (Fitz-Gibbon, 1990, pág. 1). Por medio de los indicadores se juzga la eficiencia de una propuesta para alcanzar los objetivos, o su calidad. Cada indicador, finalmente, se puede cuantificar con un estándar o valor de referencia (*benchmark*) derivado de otros productos que destacan por sus prestaciones. Los *benchmarks* representan una medida precisa o un rango de valores que permiten comparar un diseño con otros productos existentes, para así poder establecer su competitividad. En definitiva, los objetivos indican cómo se pretende alcanzar las metas; los requisitos de prestaciones determinan cómo lograr estos objetivos; los indicadores establecen qué aspectos de un diseño hay que medir y verificar; los valores de referencia (*benchmarks*) añaden información sobre cómo optimizar un diseño.

1.2.2.2 Síntesis: combinación y búsqueda de alternativas

Una vez definido el problema de diseño, el segundo paso del proceso consiste en proponer una propuesta capaz de cumplir con unos objetivos, es decir, una solución. Mientras que en otros procesos de diseño se concibe una propuesta como un todo, cuyos detalles se desarrollan en unas fases posteriores, el diseño basado en prestaciones invierte este proceso, ya que plantea buscar soluciones parciales a cada requisito, cuya combinación puede dar lugar a unas alternativas. Estos componentes asociados a los requisitos de prestaciones se denominan “soluciones parciales” –*partial solution* (Jones, 1963)– o “sub-soluciones” –*sub-solutions* (Cross, 2000)–, ya que abordan aspectos parciales del problema de diseño y de su solución. También se llaman “variables de diseño” o “variables de decisión” –*decision variables* (Archer, 1965)–, porque son parámetros que, a diferencia de los requisitos de prestaciones, pueden ser controlados directamente por el diseñador.

La “síntesis” se entiende como la composición de una totalidad que resulta de reunir soluciones parciales. La combinación de soluciones parciales da lugar a conjunto con distintas características. Por este motivo, Jones define la actividad de síntesis como la etapa de “transformación” del proceso de diseño –*transformation* (Jones, 1970, p. 66)–, ya que en ella se modifica la estructura inicial que deriva del problema cambiando el orden, número o disposición de las variables de diseño que se han derivado del problema. Para realizar la combinación de variables se utilizan técnicas como la tabla morfológica (*morphological chart*) (Figura 18) que describe las variables o soluciones parciales para cada requisito funcional. El número de posibles combinaciones es generalmente muy alto, incluso cuando las variables de diseño son poco numerosas.

Feature	Means				
Support	Wheels	Track	Air cushion	Slides	Pedipulators
Propulsion	Driven wheels	Air thrust	Moving cable	Linear induction	
Power	Electric	Petrol	Diesel	Bottled gas	Steam
Transmission	Gears and shafts	Belts	Chains	Hydraulic	Flexible cable
Steering	Turning wheels	Air thrust	Rails		
Stopping	Brakes	Reverse thrust	Ratchet		
Lifting	Hydraulic ram	Rack and pinion	Screw	Chain or rope hoist	
Operator	Seated at front	Seated at rear	Standing	Walking	Remote control

Figura 18. Tabla morfológica para la generación de propuestas de diseño de un montacargas, y selección de una propuesta de diseño. Fuente: (Cross, 2000).

La combinación de posibles soluciones parciales da lugar a una amplia gama de propuestas cuya viabilidad debe verificarse. De hecho, la combinación de varias variables de diseño puede dar lugar a conflictos (efectos secundarios). En esta etapa de diseño no se trata simplemente de ensamblar los componentes (variables o soluciones parciales de

diseño), sino de “buscar” los ensamblajes apropiados. Una vez consideradas unas propuestas viables o compatibles, el diseñador se enfrenta con el problema de evaluar las diversas alternativas para seleccionar una de ellas.

1.2.2.3 Evaluación: verificación del cumplimiento de objetivos

En el diseño basado en prestaciones, la evaluación consiste en comparar diferentes alternativas en base a los requisitos de prestaciones para poder elegir una de ellas. Para realizar esta comparación, las alternativas y los criterios deben compartir el mismo lenguaje. La evaluación, en otras palabras, se basa en comparar las prestaciones de las alternativas con las esperadas (requisitos de prestaciones). Por este motivo, el cálculo, medición o cuantificación del rendimiento de las variantes representa una parte esencial de la evaluación. Un modelo matemático o simbólico proporciona información sobre el rendimiento derivado de la combinación de las diversas variables o parámetros de diseño con respecto a unos indicadores. El modelo representa el conjunto de las variables de diseño y cuantifica los efectos que se derivan de sus múltiples combinaciones, o variables de las prestaciones. Cada cambio en el valor de un parámetro de diseño corresponde a una propuesta diferente, la cual puede repercutir de forma positiva o negativa sobre los objetivos previamente fijados. Mientras que los parámetros de diseño pueden ser controlados directamente por el diseñador, no ocurre así con las variables de las prestaciones. Por tanto, se trata de controlar los efectos de unas propuestas de forma indirecta, por medio de cambios en los parámetros de diseño. Así, anticipando los efectos de las propuestas, se puede seleccionar aquella capaz de cumplir mejor con los requisitos de prestación o de rendimiento. De esta forma, los requisitos de prestaciones se entienden como “criterios” de evaluación, ya que se aplican como reglas para seleccionar entre diversas propuestas.

Por medio de la evaluación se busca reducir el número de propuestas hasta aproximarse a una solución única para el problema. Jones denomina a esta etapa del proceso de diseño “convergencia” –*convergence* (Jones, 1970, p. 68)–. Ante la imposibilidad de satisfacer todos los criterios en igual medida (optimización matemática), la evaluación se entiende como el proceso que explora las variables o parámetros de diseño hasta encontrar una combinación que destaca por el cumplimiento de un objetivo, sin afectar al cumplimiento de otros, así evitando el fenómeno conocido como *spillover effect* (efectos indirectos no deseados). El proceso de evaluación, por tanto, es un proceso de negociación y de compromiso (*trade-off*) por medio del cual se busca responder a la siguiente pregunta: entre las diversas propuestas, ¿cuál es la que mejor cumple con los objetivos? La pregunta así formulada pertenece al campo de la toma de decisiones, y para responderla se emplean una serie de técnicas que permiten hallar la respuesta adecuada. La clasificación (*ranking*) es una técnica basada en la comparación de un grupo de alternativas en relación a unos indicadores. Una vez que se hayan clasificado los objetivos en base a su prioridad (matriz de ponderación), y que se les haya asignado un valor correspondientemente a esta clasificación, se mide o estima el grado con el que cada alternativa satisface cada indicador. Otras técnicas son de tipo económico. El análisis coste-beneficio (ACB) se puede aplicar para la evaluación del impacto o los efectos de una opción en términos monetarios. Según esta técnica de evaluación, una propuesta es

deseable cuando los beneficios que aporta superan los costes de su realización. Con el fin de establecer la relación coste-beneficio, tanto las propuestas como los objetivos se expresan en términos monetarios. Así, este tipo de análisis se entiende como monocriterio, siendo el valor monetario el único criterio que se tiene en cuenta en la toma de decisiones. En la práctica, sin embargo, el impacto de una propuesta no se evalúa únicamente a partir de sus consecuencias económicas. Muchos aspectos difícilmente son cuantificables en términos monetarios (aspectos sociales, políticos, estéticos y psicológicos), o carecen de sentido si se expresan en términos económicos. Por otro lado, el análisis coste-efectividad (*cost-effectiveness analysis*) permite hacer una valoración sobre la forma menos onerosa de lograr un objetivo específico, cuando hay diversas opciones en juego. Al contrario del análisis coste-beneficio, el análisis coste-efectividad permite el uso de múltiples medidas. No resuelve el problema de cuantificar en términos monetarios muchos aspectos de los beneficios que derivarían de la implementación de una propuesta, pero informa sobre los costes que se deben asumir para lograr ciertos objetivos, aunque estos estén expresados por medio de medidas o valores ajenos a lo monetario.

Por otro lado, durante la evaluación emerge a otra pregunta: ¿Cómo se puede obtener de la propuesta la mejor prestación? Esta segunda pregunta pertenece al campo de la optimización que toma como comparadores (*benchmarks*) a aquellos servicios, procesos y productos que destacan por sus prestaciones. Comparando las prestaciones de un producto nuevo con las de otros existentes que hayan demostrado funcionar bien (*benchmarking*), se puede extraer información para mejorar el diseño del propio producto. Por definición: “*Benchmarking is a method of improving performance in a systematic and logical way by measuring and comparing your performance against others, and then using lessons learned from the best to make targeted improvements*” (Swanm & Kyng, 2004, pág. 5). Básicamente, el *benchmarking* o evaluación comparativa, es una técnica que permite optimizar el diseño de un producto. La optimización, de hecho, se basa en modificar las variables de diseño en base a unos valores de rendimiento que se asumen como valores de referencia o estándares (Figura 19).

El diseño basado en prestaciones consiste en un proceso de hipótesis, predicción, medición y evaluación que concluye con una propuesta que habrá de materializarse. Sin embargo, en la producción de un artefacto, el diseño es solamente una parte de un proceso más amplio que abarca también su fabricación y uso. A lo largo de estas fases, la evaluación de las prestaciones del producto se lleva a cabo de múltiples maneras: durante la fase de diseño, un diseño se verifica por medio de un modelo matemático o simbólico; después se fabrica un prototipo para eliminar errores o anomalías; finalmente se construye el producto “real”. En cada fase, las prestaciones de un producto se miden y se comparan con criterios preestablecidos, de manera que se pueda garantizar el funcionamiento deseado. Estos criterios generalmente se deducen de estándares de manera que se puede verificar el nivel de las prestaciones que alcanza un producto. Pero un producto puede también establecer nuevos estándares para productos futuros. Así, el DBP permite producir tecnologías, sistemas o artefactos cada vez más eficientes, ya que los estándares mismos se van modificando a partir de soluciones cada vez más óptimas.

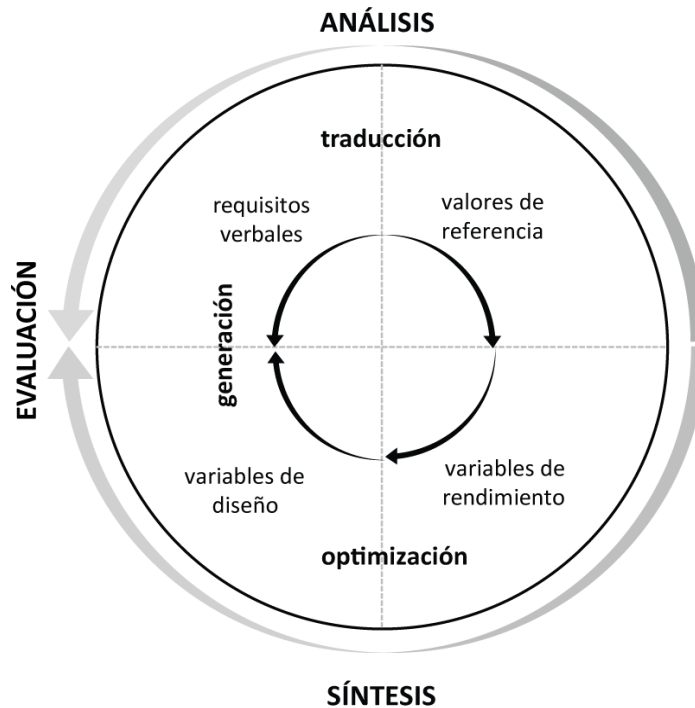


Figura 19. La optimización en el proceso de diseño basado en prestaciones. Fuente: Gráfico de elaboración propia.

1.3 Expectativas, logros y límites del diseño basado en prestaciones

El diseño basado en prestaciones surge de la necesidad de mejorar los procedimientos tradicionales de diseño y tiene su fundamento en la idea de que las prestaciones de un producto o artefacto pueden optimizarse mejorando su proceso de diseño. Objetividad y racionalidad están en la base de su planteamiento. La reducción del error y la innovación, forman parte de las expectativas de esta metodología de diseño. En efecto, estas expectativas se han visto materializadas en una serie de logros vinculados a la innovación tecnológica. Pero, en campos distintos del ámbito militar y de la ingeniería se han encontrado ciertos límites a los beneficios que esta metodología ofrece, ya que no siempre es posible definir claramente unos objetivos, de la misma manera que no siempre se pueden hacer predicciones certeras sobre el funcionamiento de un diseño.

1.3.1 Expectativas: reducción del error e innovación

Los beneficios que se esperaban de los métodos de diseño, y de la implementación del diseño basado en prestaciones en particular, eran la reducción de los errores y la innovación. En este sentido, John Christopher Jones afirmaba: *“The method is intended to have two effects: to reduce the amount of design error, re-design and delay; to make possible more imaginative and advanced design”* (Jones, 1963, pág. 9). En lo que se refiere al primer punto, la reducción del error, Jones afirmaba que, organizando el diseño en base a la definición de los objetivos y la búsqueda de soluciones y, sobre todo, con un atento proceso de evaluación sería posible reducir los errores en el diseño. Esencialmente,

el error era un fallo en el cumplimiento de los objetivos. Así afirmaba: “*Evaluation is here understood to mean any method by which deficiencies in solutions can be detected before final manufacturing drawings have been started, before production begins, before the product has been sold, before it has been installed and before it has been put in use. The purpose of any methods of evaluation is to detect errors at the stage when they can be most cheaply corrected, that is when the increasingly expensive processes of drawing, manufacture, selling, installation, and use do not have to be repeated in order to make the correction*” (Jones, 1963, págs. 26-27). El efecto secundario de la reducción de los errores es la reducción de tiempo, costes, riesgos y pérdidas derivados de las modificaciones a realizar en fases posteriores del desarrollo y uso del producto. De modo que el diseño basado en prestaciones busca una respuesta a una dificultad implícita en el diseño, ya que el diseñador utiliza información del presente para tomar decisiones sobre una situación futura que no se hará realidad a menos que sus predicciones sean acertadas. Estas predicciones se realizan con modelos de simulación con el fin de reducir el desfase entre la información necesaria para tomar una decisión y la información al alcance del diseñador.

En lo que concierne al segundo punto, la innovación, Jones sostenía que ésta radicaba en la generación y evaluación de varias propuestas. En lugar de usar soluciones preexistentes, la síntesis de soluciones parciales a problemas parciales podía llevar a la aparición de propuestas inesperadas capaces de dar solución al problema de una forma innovadora. En este sentido, Jones afirmaba: “*Systematic design does not seek a single solution but aims at finding a range of solutions and making it clear in what ways each fits, or does not fit, the specification. Finally, when it becomes necessary to select one or more of these solutions for production, the selection can be made in full awareness of the results which can be expected, end with a high probability that no better solutions can be found with the existing resources*” (Jones, 1963, págs. 24-25). En este planteamiento subyace un razonamiento “biológico”: la naturaleza genera seres al azar que sobreviven si se adaptan al entorno. Es decir, cumplen con su objetivo principal: mantenerse vivos. La propuesta de los métodos de diseño, generar alternativas que luego son evaluadas para elegir la óptima, imita a la naturaleza. Esencialmente la innovación en el diseño viene de un proceso de prueba-error parecido al proceso de evolución biológica. El modelo de simulación permitiría apoyar y acelerar este mecanismo evolutivo, ya que la simulación permite experimentar con un producto o un edificio antes de su realización. La posibilidad de experimentar con un artefacto antes de producirlo permitía afrontar problemas nuevos de diseño, para los que no existían precedentes.

1.3.2 Logros: del cohete al ordenador

Con el diseño basado en prestaciones se pretendió crear productos tecnológicos que pudieran cumplir con los máximos requisitos de prestación (*high-performance*). Las expectativas del diseño basado en prestaciones se han visto materializadas en una serie de productos tecnológicos, como los misiles teledirigidos y otras tecnologías avanzadas de la investigación militar. Quizás el logro más memorable haya sido la llegada a la Luna. Esta hazaña representaba un desafío complejo que requirió de una planificación de objetivos, la predicción y las pruebas de su funcionamiento con modelos matemáticos y

prototipos; la recogida e interpretación de datos; la comparación de las predicciones con los resultados; la búsqueda de errores o anomalías; y, finalmente, la modificación, implementación y puesta en uso del producto final. Es decir, conseguir poner un pie en el satélite de la Tierra puede considerarse un logro del diseño basado en prestaciones. Aunque incluso en ámbitos altamente tecnológicos los objetivos no siempre llegan a cumplirse; baste recordar el accidente del trasbordador espacial Challenger, en 1986. En este sentido, tal como Diane Vaughan comentó, la última verificación es la que se lleva a cabo en la realidad: “[...] *for engineers, a design is a hypothesis to be tested. But tests only approximate reality. The proof is in the performance. [...] For the shuttle, flight was the ultimate test*” (Vaughan, 1996, pág. 109).

Más allá de las limitaciones del diseño basado en prestaciones, que se discutirán en los párrafos siguientes, se puede afirmar que hoy en día sus logros están presentes en nuestros hogares. Muchos de los productos de consumo cotidiano, como los electrodomésticos, las bicicletas, los instrumentos musicales y deportivos, se han realizado a partir de la aplicación del diseño basado en prestaciones. Las especificaciones técnicas, o “especificaciones de prestaciones”, que estos productos llevan consigo es la constatación de que han sido el fruto de un diseño basado en prestaciones. Entre todos estos productos de consumo, el ordenador constituye un caso emblemático, pues no solo es el resultado de una metodología basada en prestaciones, sino que es además el instrumento que permite desarrollar esta metodología.

1.3.3 Límites: el factor humano en el diseño

Aplicando el método científico al diseño se aspiraba a convertir a este en un proceso racional, que minimizaba la influencia del diseñador (factor humano). Sin embargo, no hubo un consenso universal para asimilar el proceso de diseño con la resolución racional de problemas. Así, se argumentó que un proceso sistemático de diseño no describía cómo se solucionaban los problemas, sino más bien cómo se deberían solucionar. El método del diseño, por tanto, no era más que una trasposición consciente de un ideal científico a otro ámbito distinto. Estas reflexiones surgieron a partir del reconocimiento de ciertos obstáculos: la dificultad de definir el problema de diseño, la imposibilidad de seguir un orden lógico en el proceso de diseño y de realizar una evaluación completamente objetiva. Esencialmente, lo que se puso en duda fue la racionalidad en las que se fundaba el proceso de diseño, y el diseño basado en prestaciones en particular.

En lo que concierne al “problema del problema de diseño”, Horst Rittel sostuvo que, en muchos campos del diseño, como el ámbito de la planificación social, no era posible definir de forma cuantitativa el problema de diseño debido a las complejas interdependencias de las relaciones humanas. En su artículo “On the Planning crisis: Systems Analysis of the First and Second Generations” (1972), Rittel distinguía entre problemas domesticables (*tame problems*) y problemas malvados o perversos (*wicked problems*) (Rittel, 1972). Los primeros son los problemas de los científicos o de los jugadores de ajedrez, los cuales se pueden definir con precisión matemática y contienen la información suficiente para llegar a su resolución; los segundos son los problemas que se caracterizan por ser únicos, irrepetibles y difíciles de estructurar, por tanto no tienen

una formulación precisa y definitiva.⁴¹ Por otra parte, Herbert Simon argumentó que no existe una frontera clara entre problemas bien estructurados (*well-structured problems*) y problemas mal estructurados (*ill-structured problem*). Simon puso de manifiesto que algunos problemas aparentemente bien estructurados en realidad no lo eran, y puso como ejemplo el juego del ajedrez. Ambos autores coincidían en que el problema de diseño es difícil de definir, pero ofrecieron soluciones diferentes para enfrentarlo.

Simon insistía en que había una lógica adecuada para hacer frente incluso a problemas aparentemente mal estructurados. Al contrario, Rittel ponía en duda el orden racional o lógico con el cual se debía llevar a cabo el proceso de diseño: si no se podía definir el problema, tampoco se podía seguir la lógica que veía surgir la solución directamente del problema. En otro influyente artículo escrito en colaboración con Melvin Webber, “Dilemmas in a General Theory of Planning” (1973), Rittel afirmaba: “*For any given tame problem, an exhaustive formulation can be stated containing all the information the problem-solver needs for understanding and solving the problem-provided he knows his ‘art,’ of course. This is not possible with wicked-problems. The information needed to understand the problem depends upon one’s idea for solving it. That is to say: in order to describe a wicked-problem in sufficient detail, one has to develop an exhaustive inventory of all conceivable solutions ahead of time. The reason is that every question asking for additional information depends upon the understanding of the problem-and its resolution-at that time. Problem understanding and problem resolution are concomitant to each other*” (Rittel & Webber, 1973, pág. 161). Esencialmente Rittel y Webber sostenían que no podía resolverse un problema de diseño sin adelantar una potencial solución. Sin embargo, no excluían la posibilidad de un nuevo planteamiento del método de diseño: “*The systems-approach ‘of the first generation’ is inadequate for dealing with wicked-problems. Approaches of the ‘second generation’ should be based on a model of planning as an argumentative process in the course of which an image of the problem and of the solution emerges gradually among the participants, as a product of incessant judgment, subjected to critical argument*” (Rittel & Webber, 1973, pág. 162). Rittel y Webber reconocían que los métodos de diseño propuestos durante la década de 1960 representaban a “una primera generación de métodos” que, analizados retrospectivamente, resultaron ser reduccionistas y limitados. Una “segunda generación de métodos” debería afrontar la complejidad de los problemas de diseño, más que evadirla. En este caso, el diseño debía entenderse como un proceso en que el problema y la solución emergen en paralelo gracias a un “proceso argumentativo”.

En esta línea, en su artículo “Knowledge and design” (1972), Bill Hillier, Musgrove y O’Sullivan afirmaban: “[...] *design problems are essentially pre-structured*

⁴¹ Rittel enumeró las características de problemas retorcidos o perversos –*wicked problems* (WPs)–, las cuales son completamente opuestas a las de los problemas que se pueden definir con precisión matemática: “1. WPs have no definitive formulation; 2. The WP corresponds to a statement of the solution and vice versa; 3. there is no stopping rule for WPs; 4. to WPs correct/false is not applicable; 5. There is no exhaustive, enumerable list of permissible operations; 6. in WPs there are many explanations for the same discrepancy; 7. every WP can be considered a symptom of another problem; 8. For a WPs there is neither an immediate nor an ultimate test to the problem; 9. each WP is one-shot operation; 10. Every WP is essentially unique” (Rittel, 1972, págs. 392-393).

both by constraints and by the designer's own cognitive map, and that solutions are only intelligible if this is fully recognized. Design proceeds by conjecture-analysis rather than by analysis-synthesis" (Hillier, Musgrove, & O'Sullivan, 1972, pág. 1). En esta afirmación se ponían de manifiesto dos aspectos críticos del diseño: el primero, que la definición de los problemas de diseño no puede prescindir de la interpretación (pre-estructura) del diseñador; el segundo, que la definición del problema de diseño depende de un adelanto de la solución. Por lo que concierne al primer punto, Hillier, Musgrove y O'Sullivan manifestaban: *"We cannot escape from the fact that designers must, and do, pre-structure their problems in order to solve them although it appears to have been an article of faith among writers on design method (with a few exceptions) that this was undesirable because unscientific"* (Hillier, Musgrove, & O'Sullivan, 1972, pág. 3). A esto añadieron: *"This notion of the preexisting cognitive map is very important indeed, because it is largely through the existence of such maps that any cognitive problem solving activity can take place. They are, and must be used by the problem-solver in order to structure the problem in terms in which he can solve it. [...] Data is not collected at random"* (Hillier, Musgrove, & O'Sullivan, 1972, pág. 10). Básicamente, se afirmaba que la definición del problema es una cuestión de selección de información y esto implica necesariamente la participación activa del diseñador. Esta afirmación encontró respaldo en Bryan Lawson, quien en su texto *How Designers Think* (1980), sostuvo que un diseñador no puede prescindir de las ideas preconcebidas en la definición del problema: *"The designer does not approach each design problem afresh with a tabula rasa, or blank mind, as is implied by a considerable amount of the literature on design methods. Rather, designers have their own motivations, reasons for wanting to design, sets of beliefs, values and attitudes. In particular, designers usually develop quite strong sets of views about the way design in their field should be practiced. This intellectual baggage is then brought by a designer into each project, sometimes very consciously and at other times rather less so. [...] Whether they represent a collection of disjointed ideas, a coherent philosophy or even a complete theory of design, these ideas can be seen as a set of 'guiding principles'"* (Lawson, 1980, pág. 159). Las ideas preconcebidas representan el credo filosófico o los valores culturales del diseñador; son la base sobre la que se asienta el problema y la solución. Asimismo, en *The Reflective Practitioner* (1983), Donald Schön sostenía: *"When we set the problem, we select what we will treat as the 'things' of the situation, we set the boundaries of our attention to it, and we impose upon it a coherence which allows us to say what is wrong and in what directions the situation needs to be changed. Problem setting is the process in which, interactively, we name things to which we will attend and frame the contest in which we will attend to them"* (Schön, 1983, pág. 40). . Schön afirmaba que los diseñadores no se limitan a afrontar un problema dado, sino que buscan y formulan problemas: *"I shall consider designing as a conversation with the materials of the situation. A designer makes things. [...] He works in particular situation, use particular materials, and employs a distinctive medium and language. Typically, his making process is complex. There are more variables –kinds of possible moves, norms, and interrelationships of these– that can be represented in a finite model. Because of this complexity, the designer's move tends, happily or unhappily, to produce consequences other than those intended. When this happens, the design may take account*

of the unintended changes, he has made in the situation by forming new appreciations and understandings and by making new moves. He shapes the situation, in accordance with his initial appreciation of it; the situation ‘talks back’, and responds to the back talk. In a good process of design, this conversation with the situation is reflective. In answer to the situation’s back-talk, the designer reflects-in-action on the construction of the problem, the strategies of action, or the model of the phenomena, which have been implicit in his moves” (Shön, 1983, pág. 79). Schön, en definitiva, afirmaba que el diseño debe entenderse como un proceso complejo, en el que no solamente se produce una interacción entre el problema y la solución, sino también una interacción del diseñador con el objeto diseñado (*reflect-in-action*). En definitiva, todos estos autores estaban de acuerdo con que el diseño tiene una componente subjetiva, que depende de la manera de pensar y del conocimiento del diseñador.

Otro punto crítico en el planteamiento del diseño como un proceso racional residía en la lógica lineal problema-solución. Hillier, Musgrove y O’Sullivan sostenían que el diseño no es el resultado de un proceso de análisis exhaustivo, sino más bien la resolución de una conjetura: *“Conjecture and problem specification thus proceed side by side rather than in sequence”* (Hillier, Musgrove, & O’Sullivan, 1972, pág. 10). Según estos autores, el diseño es un proceso cíclico en el que la definición del problema depende del adelanto de una solución, lo que da lugar a un proceso de diseño reflexivo –*reflexive design* (Hillier, Musgrove, & O’Sullivan, 1972, pág. 7)–. La existencia de tales reflexiones fue confirmada en una serie de entrevistas realizadas a arquitectos por Jane Darke, quien comprobó que, frente a la dificultad de concretar el problema, la tendencia del arquitecto era adelantar una propuesta inicial con la que poder investigar el problema. En su artículo *“The Primary Generator and the Design Process”* (1979), Darke argumentó: *“The greatest variety reduction or narrowing down of the range of solutions occurs early on in the design process, with a conjecture or conceptualization of a possible solution. Further understanding of the problem is gained by testing this conjecture solution”* (Darke, 1979, pág. 38). Darke concluyó que el diseño no comienza con una lista completa y estructurada de los objetivos, sino con la selección de algunos de ellos: *“[the architects] fix on a particular objective, or small group of objectives, usually strongly valued and self-imposed, for reasons that rest on their subjective judgment rather than being reached by a process of logic”* (Darke, 1979, pág. 38). Esencialmente, el arquitecto, y más generalmente, el diseñador, selecciona un grupo de objetivos que a su juicio son cruciales y en función de ellos propone la solución que considera oportuna. Estos objetivos iniciales constituyen, según Darke, el generador primario –*primary generator*– un mecanismo que permite adelantar una propuesta y dar así inicio al proceso (Figura 20). La conjetura, esencialmente, es una idea que surge de la experiencia del diseñador.

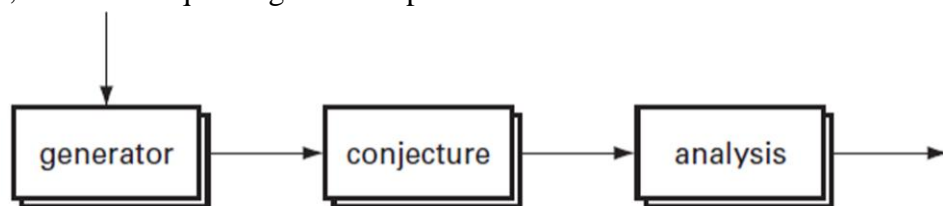


Figura 20. Representación del proceso de diseño según Jane Darke. Fuente: (Lawson, 1980).

Por medio de diversos estudios empíricos, Lawson llegó a la conclusión de que los científicos se centran en el análisis del problema, mientras que los arquitectos están más pendientes de proponer hipótesis que se descartan durante el proceso de dar solución al problema: *“The essential difference between these two strategies is that while the scientists focused their attention on understanding the underlying rules, the architects were obsessed with achieving the desired result. Thus we might describe the scientists as having a problem-focused strategy and the architects as having a solution-focused strategy”* (Lawson, 1980, pág. 43). Según Lawson, los científicos empiezan con el problema, mientras que los diseñadores lo hacen adelantando la solución. Por esta razón, aunque el diseño comprende el análisis, la síntesis y la evaluación, estas actividades no se dan en un orden específico, tal como se asume desde planteamientos racionales. En consecuencia, Lawson concluía: *“Our final attempt at a map of the design process shows this negotiation between problem and solution with each seen as a reflection of the other. The activities of analysis, synthesis and evaluation are certainly involved in this negotiation but the map does not indicate any starting and finishing points or the direction of flow from one activity to another. [...] The idea, however, that these activities occur in that order or even that they are identifiable separate events seems very questionable. It seems more likely that design is a process in which problem and solution emerge together”* (Lawson, 1980, pág. 48). En definitiva, el error de los métodos de diseño fue pretender separar las diversas actividades integradas en el proceso de diseño – análisis, síntesis, evaluación–, para formar una secuencia ordenada. Más bien al contrario, la definición del problema, la generación de una solución y la evaluación de la misma están inseparablemente unidas. Por ello Cross describía el proceder del diseñador como una “co-evolución” del problema y la solución: *“Designers tend to use solution conjectures as the means of developing their understanding of the problem. Since ‘the problem’ cannot be fully understood in isolation from consideration of ‘the solution’, it is natural that solution conjectures should be used as a means of helping to explore and understand the problem formulation”* (Cross, 2001, pág. 84). Lionel March recurrió al concepto de “abducción” propuesto por el filósofo Charles Sanders Peirce (1958), para describir este modo distinto de razonar del diseño, que no se basaba ni en la deducción y ni en la inducción. March llamaba a esta lógica razonamiento productivo –*productive reasoning* (March, 1976)–.

En síntesis, en la definición del problema de diseño no se podía prescindir de los valores y experiencia que aporta el diseñador (*pre-structure* según Hillier, *guiding principles* según Lawson, *primary generator* según Darke, *framing* según Schön) a partir de las cuales éste era capaz de adelantar una solución (conjetura) para facilitar el entendimiento de un problema. Esto quiere decir que un problema se diseña, igual que se diseña una solución. Por esta razón el diseño no podía entenderse como un proceso lineal problema-solución, sino como un proceso cíclico de interacción (o integración) entre el problema y la solución (*reflexive design* Hillier, *argumentative process* según Rittel, *co-evolution* según Cross). Este cambio en la descripción del diseño coincidía con un cambio de paradigma a nivel cultural. La visión positivista, para la cual el conocimiento se alcanza a través de la experimentación sin recurrir a nociones apriorísticas, fue

remplazada por una visión constructivista, que rechazaba la existencia de un conocimiento absoluto afirmando que la realidad es una construcción en cierto grado inventada por quien la observa. Un reflejo de este cambio de perspectiva es el libro de Karl Popper, *Conjectures and Refutations* (1963), en el que sostenía que la ciencia no podía progresar sin conjeturas: “[...] *there is no more rational procedure than the method of trial and error-of conjecture and refutation: of boldly proposing theories; of trying our best to show that these are erroneous; and of accepting them tentatively if our critical efforts are unsuccessful*” (Popper, 1963, pág. 68). Esencialmente, Popper sostenía que, aunque la conjetura no derivase de los hechos, el proceso de descubrimiento científico no era por ello menos racional. Por el contrario, lo irracional sería excluir la conjetura.

La investigación sobre la naturaleza del diseño llevó a entender el diseño como una forma de conocimiento distinta de otras ciencias. Este cambio de perspectiva ya había comenzado con la publicación del artículo “Whatever became of Design Methodology?” (1979), en el que Bruce Archer afirmaba: “*In retrospect, I can see that I wasted an awful lot of time in trying to bend the methods of operational research and management techniques to design purposes. [...] My present belief, formed over the past six years, is that there exists a designerly way of thinking and communicating that is both different from scientific and scholarly ways of thinking, and as powerful as scientific and scholarly methods of enquiry when applied to its own kinds of problem*” (Archer, 1979, pág. 17). Básicamente, Archer consideraba el diseño como una tercera cultura (Figura 21): “*Where Science is the collected body of theoretical knowledge based upon observation, measurement, hypothesis and test, and the Humanities is the collected body of interpretive knowledge based upon contemplation, criticism, evaluation and discourse, the third area is the collected body of practical knowledge based upon sensibility, invention, validation and implementation*” (Archer, 1979, pág. 20). En esta línea, Nigel Cross empleó la expresión “*designerly way of thinking*” para referirse al diseño como una actividad distinta a la ciencia y del arte. Así, en su artículo “Designerly Ways of Knowing” (1982), Cross afirmó: “*In most cases, it is easier to contrast the sciences and the humanities (e.g. objectivity versus subjectivity, experiment versus analogy) than it is to identify the relevant comparable concepts in design. This is perhaps an indication of the paucity of our language and concepts in the ‘third culture’, rather than any acknowledgement that it does not really exist in its own right. But we are certainly faced with the problem of being more articulate about what it means to be ‘designerly’ rather than to be ‘scientific’ or ‘artistic’. Perhaps it would be better to regard the ‘third culture’ as technology, rather than design. This ‘material culture’ of design is, after all, the culture of the technologist – of the designer, doer and maker. Technology involves a synthesis of knowledge and skills from both the sciences and the humanities, in the pursuit of practical tasks; it is not simply ‘applied science’, but ‘the application of scientific and other organised knowledge to practical tasks*” (Cross, 1982, pág. 223).

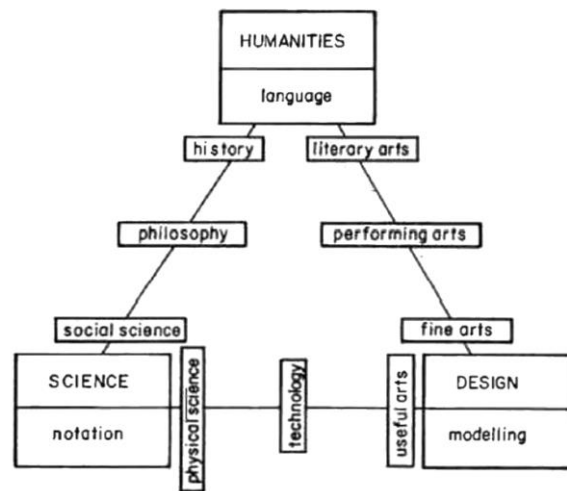


Figura 21. El diseño como una tercera cultura y como forma de conocimiento. Fuente: (Archer, 1979).

Las críticas al planteamiento del diseño como proceso racional ponían en duda la aplicabilidad del DBP, cuyo fin es establecer unos criterios explícitos (problema) para evaluar las propuestas de diseño. En muchos ámbitos no es posible explicitar los objetivos del diseño, por lo que todo el armazón construido en torno al cumplimiento de unas prestaciones se desmorona. Otras críticas al DBP se centran en la supuesta objetividad de la evaluación. Pese a que el DBP entiende la evaluación como un proceso sistemático basado en datos y procedimientos, a menudo se emplean técnicas que no son rigurosas. El modelo (matemático o simbólico) empleado para cuantificar las prestaciones de una propuesta tiene las limitaciones de cualquier creación humana.⁴² En la creación de estos modelos se eligen los elementos de un sistema en relación a los resultados que se quieren obtener. Como sostenían Charles Sauer and Mani Chandy en su texto *Computer Systems Performance Modeling* (1981): “[...] *performance evaluation is an art, not a science. This is true with measurement as well as modeling. In constructing a model, particularly in deciding which system characteristics to consider and which to ignore (it is usually impractical to consider all system characteristics), we must rely heavily on intuition and use methods which are not particularly rigorous*” (Sauer & Chandy, 1981, pág. 5). En definitiva, los resultados de un modelo de simulación dependen de cómo se ha construido un modelo, de los datos que se introducen en él, así como de la interpretación de la información que facilitan.

⁴² Karl Mannheim sostenía que el modelo desarrollado por un diseñador es producto de una experiencia personal y tiene implicaciones ideológicas (Mannheim, 1936). En otras palabras, el modelo está estrictamente vinculado a un modelo mental, construido en base la percepción, comprensión o imaginación del diseñador (Craik, 1943). El modelo (físico o matemático) viene siempre precedido por el modelo mental, implicando un cierto grado de subjetividad que da lugar a una congruencia del modelo con la mente, más que con una realidad objetiva. En otras palabras, ningún modelo puede y debe ser completo, verdadero y universal. La construcción de un modelo está más relacionada con el campo de los “valores” que con el campo de los “hechos”.

1.4 Conclusiones

En este capítulo se ha descrito el diseño basado en prestaciones (DBP), una metodología cuyo objetivo es garantizar el éxito de un proceso de diseño por medio de la producción de información fiable, apropiada y útil que facilite la toma de decisiones. A través de un procedimiento racional y mediante la aplicación de modelos de simulación, esta metodología intenta cubrir la brecha entre la información que está al alcance del diseñador y la que se requiere para tomar decisiones encaminadas hacia el cumplimiento de un resultado deseado y previamente definido. En otras palabras, el diseño basado en prestaciones busca reducir la “incertidumbre”, los “errores” y los “riesgos” que subyacen en un proceso de diseño, intentando hacer explícitas las razones por las que se elige una opción u otra con vistas a conseguir unos objetivos igualmente explícitos. Según esta metodología, el diseño no es un producto en sí mismo, sino el resultado de evaluar diversas alternativas con el fin de elegir aquella que satisfaga los objetivos prefijados. Así, según esta lógica, la evaluación o verificación son parte del proceso de diseño, lo que significa que los resultados del mismo son una nueva fuente de información que alimenta futuros procesos. La evaluación de las prestaciones, cuando el objeto no ha sido aún creado, se lleva a cabo mediante simulaciones. En ocasiones, las prestaciones pueden verificarse comparándolas con valores reales obtenidos de productos ya realizados y en uso.

La reducción de la incertidumbre y del error en la toma de decisiones, así como la búsqueda de soluciones innovadoras, son también relevantes en el proyecto de arquitectura. Sin embargo, al aplicar el DBP a la arquitectura surgen una serie de dificultades. Como se ha visto, esta metodología tiene su origen en el campo de las aplicaciones militares y se extendió luego al diseño de productos tecnológicos. Un avión, u otro producto tecnológico semejante, debe pasar por ciertas pruebas, cumplir con unos objetivos y responder a ciertos criterios establecidos por la industria (estándares). Antes de su implementación y puesta en uso, el avión es sometido a una serie de pruebas con el objeto de garantizar su funcionamiento. Ciertamente son muchos los criterios y las especificaciones que se tienen en cuenta en la evaluación de un avión, pero su objetivo último es volar (es decir, volar rápido, seguro, consumiendo el mínimo combustible, produciendo poca contaminación y poco ruido). Desde este punto de vista, el éxito del diseño de un avión es claramente evaluable. Por otra parte, el problema del acierto en la consecución de unos objetivos prestablecidos en una obra de arquitectura depende de la posibilidad de fijar unos requisitos que deba cumplir, de manera objetiva. Así, aplicar los términos de éxito o error a un proyecto arquitectónico puede resultar problemático. Básicamente, en esta discusión subyacen diferentes concepciones sobre la naturaleza del “diseño” en arquitectura. Para un ingeniero un diseño se basa en un análisis exhaustivo de los requisitos funcionales y sus decisiones se basan en datos objetivos. Para un arquitecto, por otra parte, la concepción de un edificio conlleva también tomar decisiones basadas en la intuición que tengan en cuenta la tradición y la belleza. El problema de aplicar el DBP a la arquitectura, de hecho, se pone de manifiesto cuando hay que cuantificar valores como el espacio y la estética.

En definitiva, cuando se intenta trasladar el DBP a la arquitectura surgen más preguntas que respuestas. Muchas cuestiones sobre la aplicabilidad del DBP en la

arquitectura quedan diluidas en el marco de la discusión general sobre el diseño. Otras cuestiones, sin embargo, especialmente aquellas relacionadas con la naturaleza del objeto de diseño arquitectónico, el edificio, son más específicamente arquitectónicas. Sobre estas últimas trata el siguiente capítulo, en el que se abordan los significados de los conceptos de *performance* y función en arquitectura.

Bibliografía

- Archer, B. (1965). *Systematic Method for Designers*. London: Council of Industrial Design.
- Archer, B. (1979). Whatever became of Design Methodology? *Design Studies*, 1(1), 17-20.
- Ashby, R. (1960). *Design for a Brain*. New York: Wiley & Sons.
- Ashby, R. (1964). *An Introduction to Cybernetics*. London: Chapman & Hall.
- Bayazit, N. (2004). Investigating Design: A Review of Forty Years of Design Research. *Design Issues*, 20(1), 16-30.
- Bernard, C. (1885). *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*. Paris: J. B. Baillière et Fils.
- Boulding, K. (1964). General Systems as a Point of View. In A. Mesarovic, *Views on General Systems Theory* (pp. 25-38). New York: John Wiley.
- Bridgman, P. (1927). *The Logic of Modern Physics*. New York: MacMillan.
- Buckminster Fuller, R. (1957). A Comprehensive Anticipatory Design Science. *Royal Architectural Institute of Canada*, 357.
- Cannon, W. (1929). Organization for Physiological Homeostasis. *Physiology Review*, 9(3), 399-431.
- Churchman, W. (1971). *The Design of Inquiring Systems: Basic Concepts of Systems and Organizations*. New York: Basic Books.
- Churchman, W., Ackoff, R., & Arnoff, L. (1957). *Introduction to Operations Research*. New York: John Wiley & Sons.
- Craik, K. (1943). *The Nature of Explanation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cross, N. (1982). Designerly Ways of Knowing. *Design Studies*, 3(4), 221-227.
- Cross, N. (2000). *Engineering Design Methods. Strategies for Product Design* (3 ed.). New York: Wiley.
- Cross, N. (2001). Design Cognition: Results from Protocol and Other Empirical Studies of Design Activity. In C. M. Eastman, W. M. McCracken, & W. C. Newstetter, *Design Knowing and Learning: Cognition in Design Education* (pp. 79-103). Oxford: Elsevier.
- Cross, N. (2001). Designerly Ways of Knowing: Design Discipline Versus Design Science. *Design Issues*, 17(3), 49-55.
- Darke, J. (1979). The primary Generator and the Design Process. *Design Studies*, 1(1), 36-44.
- Dewey, J. (1909). *How We Think*. Boston: Heath.
- Diesing, P. (1962). *Reason in Society*. Champaign: Urbana, University of Illinois Press.
- Echenique, M. (1972). Models: a discussion. In L. March, & L. Martin, *Urban Space and Structures* (pp. 164-174). London: Cambridge University Press.
- Echenique, M. (1972). Models: A discussion. In L. March, & L. Martin, *Urban Space and Structures* (pp. 164-174). London: Cambridge University Press.
- Enthoven, A. (1963). System Analysis and Decision Making. *Military Review*, 7(43), 7-17.
- Ferguson, F. (1975). *Architecture, Cities and the Systems Approach*. New York: George Braziller.
- Fitz-Gibbon, C. T. (1990). Performance indicators. *BERA Dialogues* (2), 1-4.
- Goethe, W. (1840). *Theory of Colors*. London: John Murray.

- Gregory, S. (1966). Design and the Design Method. In S. Gregory, *The Design Method* (pp. 3-10). London: Butterworths.
- Hall, A., & Fagen, R. (1956). Definition of System. *General Systems, 1*, 18-28.
- Hegel, G. W. (1929). *The Science of Logic*. London: George Allen & Unwin.
- Hillier, B., Musgrove, J., & O'Sullivan, P. (1972). Knowledge and Design. In W. Mitchell (Ed.), *Environmental Design: Research and Practice, Proceedings of the EDRA 3/AR 8 Conference* (pp. 1-14). Los Angeles: University of California.
- Hitch, C. (1963). Plans, Programs and Budgets in the Department of Defence. *Operation Research, 1*-17.
- Hitch, C., & McKean, R. (1966). Economic Choice in Military Planning. In E. Mansfield, *Managerial Economics and Operations Research: A Non-Mathematical Introduction* (pp. 215-217). New York: W. Norton.
- Jones, C. J. (1963). A Method of Systematic Design. *Conference on Design Methods* (pp. 53-73). Oxford: Pergamon.
- Jones, C. J. (1970). *Design Methods*. New York: Wiley.
- Lawson, B. (1980). *How Designers Think*. Oxford: Elsevier.
- Levi-Strauss, C. (1958). *Anthropologie Structurale*. Paris: Plon.
- Lowry, I. (1965). A Short Course in Model Design. *Journal of American Institute of Planners, 53*-64.
- Maldonado, T. (1958). New developments in the training industry in product design. *ULM, 25*-40.
- Mannheim, K. (1936). *Ideology and Utopia*. New York: Harvest Book.
- March, L. (1976). The Logic of Design and the Question of Value. In L. March, *The Architecture of Form* (pp. 1-60). Cambridge: Cambridge University Press.
- Newell, A., & Simon, H. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Piaget, J. (1968). *Le structuralisme*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Popper, K. (1963). *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. London: Routledge.
- Prawda, J. (2004). *Métodos y modelos de investigación de operaciones*. Ciudad de México: Limusa.
- Quade, E. S. (1963). *Military Systems Analysis*. Santa Monica-California: The RAND Corporation.
- Quade, E. S. (1966). *Analysis for Military Decisions*. Chicago: Rand McNally.
- Rapoport, A. (1953). *Operational Philosophy. Integrating Knowledge and Action*. New York: Harper & Brothers Publishers.
- Rittel, H. (1972). On the Planning crisis: Systems Analysis of the First and Second Generations. *Bedriftsokønomien*(8), 390-396.
- Rittel, H. (1972). Son of Rittelthink: The State of the Art in Design Methods. *The DMG 5th Anniversary Report. DMG Occasional Paper*(1), 143-147.
- Rittel, H., & Webber, M. (1973). Dilemmas in a General Theory of Planning. *Policy Sciences 4*, 155-159.
- Rosenblueth, A. (1971). *El método científico*. México DF: CINVESTAV.
- Rosenblueth, A., Wiener, N., & Bigelow, J. (1943). Behavior, Purpose and Teleology. *Philosophy of Science*(10), 18-24.
- Sargeant, M. (1965). *Operational Research for Management*. London: Heinemann.
- Sauer, C., & Chandy, M. (1981). *Computer Systems Performance Modeling*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Saussure, F. d. (1916). *Cours de linguistique générale*. Paris: Payot & Rivages.

- Shön, D. (1983). *The Reflective Practitioner*. London: Temple-Smith.
- Simon, H. (1969). *The Sciences of the Artificial*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Skyttner, L. (2005). *General Systems Theory: Problems, Perspectives, Practice*. New Jersey: World Scientific Publishing.
- Smuts, J. C. (1929). Holism. *Encyclopedia Britannica*, 11, 640-644.
- Swann, W., & Kyng, E. (2004). *An Introduction to Key Performance Indicators*. Manchester: CCI.
- Szigeti, F., & Davis, G. (2005). *Performance Based Building (PBB): An Overview*. PeBBu.
- Turing, A. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*(59), 433-450.
- Vaughan, D. (1996). *The Challenger Launch Decision: Risky Technology, Culture, and Deviance at NASA*. Chicago: The University Chicago Press.
- von Bertalanffy, L. (1950). An outline of general system theory. *British Journal for the Philosophy of Science*, 134-165.
- von Bertalanffy, L. (1967). *Robots, Men and Minds*. New York: Publisher.
- von Bertalanffy, L. (1968). *General System Theory: Foundations, Development, Application*. New York: George Braziller.
- von Neumann, J. (1958). *The Computer and the Brain*. New Haven: Yale University Press.
- von Neumann, J. (1966). *Theory of self-reproducing automata*. Champaign: Urbana, University of Illinois Press.
- Wagensberg, J. (1985). *Ideas sobre la Complejidad del Mundo*. Barcelona: Tusquets.
- Wallas, G. (1926). *The Art of Thought*. London: J. Cape.
- Watkins, R. (2007). *Performance by Design: The Systematic Selection, Design, and Development of Performance Technologies that Produce Useful Results*. Amherst, Massachusetts: HRD Press.
- Wertheimer, M. (1959). *Productive Thinking*. New York: Harper & Row.
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. New York: John Wiley & Sons.

Capítulo 2

EL CONCEPTO DE PERFORMANCE EN LA ARQUITECTURA

LA FORMA Y EL PROCESO GENERATIVO DE
LA FORMA

Introducción

Desde mediados del siglo XIX, la arquitectura encontró en la ciencia moderna principios para definir su propio corpus teórico. La biología, por ejemplo, contribuyó a cambiar el significado de unos términos que formaban parte del léxico de la arquitectura, como el de función, para dar lugar a nuevas concepciones sobre la forma. Durante la segunda mitad del siglo XX, sin embargo, el concepto de función, que había sido uno de los temas clave de la arquitectura moderna, fue remplazado por el concepto de *performance* surgido en los ámbitos del conocimiento que emergieron en torno al ordenador, como la cibernética, la teoría de sistemas y la investigación operativa. El movimiento moderno entendió la forma como la expresión del propósito o función del edificio. El concepto de *performance* dio lugar a un nuevo punto de vista a partir de la concepción del edificio como un fenómeno o un sistema activo, es decir, un artefacto con capacidad de acción. Desde esta perspectiva, la forma empezó a considerarse como un acto comunicativo y representativo (experiencia estética e intelectual) y como un fenómeno físico (experiencia fenoménica). Finalmente, entre las diversas maneras de entender la *performance* prevaleció una tercera que integraba las cualidades visuales y comunicativas del edificio con sus características físicas y materiales. La arquitectura caracterizada por esta nueva expresividad material ha sido definida como “arquitectura performativa” (*performative architecture*).

El encuentro entre la cibernética y la arquitectura dio lugar a los “métodos de diseño” (*design methods*), un campo de investigación sobre la actividad que precede a la realización de cualquier artefacto, es decir el diseño. Dotar a la arquitectura de una firme base metodológica ha sido un objetivo perseguido en diferentes momentos de la historia, de manera especial a partir del Renacimiento. A partir de la década de 1960, se empezaron a aplicar a la arquitectura los métodos, técnicas y herramientas utilizadas en el diseño de los productos tecnológicos. Básicamente, el propósito era incorporar a la arquitectura la metodología del diseño basado en prestaciones (*performance-based design*), con el fin de sustituir la intuición y la subjetividad del arquitecto con métodos lógicos y sistemáticos. El diseño pasó así a entenderse como la resolución de un problema. La arquitectura, sin embargo, tenía su propio recorrido histórico dentro de la tradición artística. Como “arte”, la arquitectura comprende una dimensión estética, simbólica y comunicativa, aspectos que fueron obviados por los métodos de diseño. A lo largo de la década de 1970, se propusieron métodos de diseño para ser llevados a cabo con la ayuda de ordenadores. Sin embargo, tanto el desarrollo posterior de estos métodos como la ilusión de poder reproducir por medio del ordenador la creatividad del arquitecto declinaron definitivamente en la década de 1990, cuando el ordenador empezó a emplearse en la práctica arquitectónica como un sistema generativo, capaz de producir formas complejas, orgánicas y fluidas. A principios del nuevo milenio, la preocupación creciente por el medioambiente y la sostenibilidad de los procesos constructivos llevó a reconsiderar el diseño basado en prestaciones como una metodología válida para reconducir los procesos de generación de la forma en arquitectura. Esta revisión dio origen al “diseño performativo” (*performative design*); es decir, un diseño que surge de la retroalimentación del proceso de generación de la forma con los resultados de la simulación de las prestaciones.

Este capítulo se estructura en dos secciones. En la primera se analiza cómo la cibernética y, especialmente, el concepto de *performance* han contribuido a redefinir la noción de forma en el ámbito de la teoría y práctica arquitectónica. En la segunda parte se afronta el problema de la formalización del proceso creativo por medio de los métodos de diseño. Ambas secciones tratan sobre la forma arquitectónica: en la primera se especula sobre la noción de forma (el qué), y en la segunda se reflexiona sobre el modelo abstracto o sistema conceptual para crearla (el cómo).

2.1 Teorías de la forma desde el siglo XIX

A mediados del siglo XIX comenzó a producirse un cambio paradigmático en la noción de la forma en la arquitectura que solo llegó a consolidarse en el siglo XX. Tradicionalmente vinculada a los valores absolutos y permanentes representados por el concepto de “tipo”, la nueva teoría de la forma halló su fundamento en conceptos más dinámicos, como “estructura” y “sistema”, que están en el origen de la arquitectura moderna y siguen permeando la arquitectura contemporánea.¹

Previamente, en el siglo XVIII, la discusión sobre la forma en arquitectura se centró en la noción de tipo, entendido por los tratadistas de la Ilustración como una alternativa a los excesos del Barroco y el Rococó.² Marc-Antoine Laugier (*Essai sur l'architecture*, 1753) retomó la hipótesis de la cabaña primitiva originalmente formulada por Vitruvio, considerada ahora como una construcción que sintetizaba las reglas originarias de la arquitectura que fueron aplicadas por los griegos y los romanos. La cabaña, que para Laugier era un principio abstracto más que un modelo físico como lo fue para Vitruvio, ejemplificaba la noción de tipo, tal como la definió posteriormente Antoine-Chrysostome Quatremère de Quincy (*Encyclopédie Méthodique*, 1788-1825).³ A diferencia de la tradición clásica, Quatremère de Quincy sostuvo que la arquitectura no debía copiar las formas de la naturaleza, sino imitarlas. Así diferenció entre “tipo”, un principio abstracto extraído de la naturaleza susceptible de ser imitado (imitación), y

¹ La noción de “forma” como término que asume va asumiendo connotaciones diversas a lo largo de la historia es la perspectiva que subyace en la tesis doctoral de Leandro Madrazo, *The Concept of Type in Architecture. An Inquiry into the Nature of Architectural Form* (1995). Madrazo aborda el concepto de Forma en un sentido amplio, explorando sus diversos significados en el ámbito de la filosofía, la ciencia y el arte, y mostrando cómo, desde su origen en el ámbito de la filosofía de la Antigua Grecia, ha llegado a coincidir con los conceptos paradigmáticos de Idea, Tipo y Estructura, que han caracterizado la producción intelectual del Renacimiento, la Ilustración y los siglos XIX-XX. Esta manera de entender la forma como un concepto dinámico ha sido retomada más recientemente por Adrian Forty que, en su texto *Words and buildings: a vocabulary of modern architecture* (2000), explora el uso de este concepto desde la Antigua Grecia hasta su refutación en la segunda mitad del siglo XX. En línea con esta perspectiva que concibe la forma como un concepto dinámico, en la primera parte de este capítulo se recorren algunas etapas de su evolución a la luz del concepto paradigmático de *performance*.

² La definición del término “tipo” en el ámbito de la teoría artística se atribuye a Quatremère de Quincy, quien lo entendió como un principio que gobierna la generación de la forma, tanto en la naturaleza como en el arte. Sin embargo, en su tesis *The Concept of Type in Architecture* (1995), Madrazo argumenta que en el ámbito de la arquitectura el concepto de tipo puede rastrearse desde Vitruvio hasta los tratadistas del Renacimiento, quienes, si bien no usaban este término de manera explícita, pensaron que el origen de la arquitectura se hallaba en un principio proveniente de la naturaleza que, según el autor romano, representaba la cabaña primitiva (Madrazo, 1995, pág. 3).

³ Madrazo (1995) identifica las relaciones entre las teorías de Laugier y Quatremère de Quincy acerca de la noción de tipo en la arquitectura: “*Laugier attributed to the cabane, or primitive hut, the character of a fundamental principle of architecture. [...] The primitive hut of Laugier is the direct antecedent of the concept of Type later formulated by Quatremere de Quincy*” (Madrazo, 1995, pág. 171). Asimismo, Madrazo sostiene: “*Both Laugier and Quatremere shared the belief that architecture had to be regenerated after the excesses committed in the immediate past. They were also concerned that, after the abandonment of the classical model, architecture would fall into caprice and arbitrariness. The solution that they advocated was the same: it was necessary to go back to the first principles. For Laugier those principles were contained in the ‘cabane’; for Quatremere in the ‘type’*” (Madrazo, 1995, pág. 180).

“modelo”, el objeto visible que se reproduce tal cual.⁴ Esta noción de tipo era para Jean-Nicolas-Louis Durand (*Précis des leçons d’Architecture*, 1802-5) un principio que debía abstraerse del estudio sistemático de los edificios del pasado.⁵ Así, oponiéndose a la teoría de la mimesis, Durand clasificó y comparó los diversos edificios producidos a lo largo de la historia en base a su morfología, con el objetivo de hallar en ellos un principio para la composición de nuevos edificios.

Durante el siglo XIX, los avances en los estudios arqueológicos contribuyeron a que la historia de la arquitectura se entendiese como una secuencia de formas cambiantes en el tiempo, es decir, de estilos. Esta nueva perspectiva, basada en el progreso y en la noción de estilo como conjunto de las características estéticas de una época,⁶ puso en duda el valor normativo del modelo clásico basado en el tipo, para dar lugar a un historicismo asincrónico o *revival*, por el que se recuperaron los estilos pasados (neogótico, neorromántico, neobizantino, etc.), y a un historicismo sincrónico o eclecticismo, que combinaba estilos distintos en la composición de un edificio. Pero la nueva conciencia histórica afectó también a la percepción de la arquitectura de la época, planteando el problema de la definición de un estilo propio del siglo XIX. Desde mediados del siglo XIX, los teóricos y críticos empezaron a demandar nuevas formas que no procedieran de la elección arbitraria del “catálogo” de los estilos del pasado. Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc (*Dictionnaire raisonné de l’Architecture Française du XI au XVI siècle*, 1854–1868) y Gottfried Semper (*Die vier Elemente der Baukunst*, 1850-51) atribuyeron los excesos del eclecticismo a la ausencia de unos principios arquitectónicos propios de su tiempo. Para ambos, la solución al problema de la falta de estilo debía

⁴ En la sección “Type” de la *Encyclopédie Methodique* (1788-1825), Quatremère de Quincy introdujo la distinción entre tipo (*type*) y modelo (*modèle*): “*Le modèle, entendu dans l’exécution pratique de l’art, est un objet qu’on doit répéter tel qu’il est. Le type est, au contraire, un objet d’après lequel chacun peut concevoir des ouvrages qui ne se ressembleroient pas entr’eux. Taut est précis et donné dans le modèle, taut est plus ou moins vague dans le type*” (Quatremère de Quincy, 1788-1825, págs. 543-545). Básicamente, el modelo se repetía tal como era, mientras que el tipo era un objeto desde el cual podían derivar estructuras que no se parecieran entre ellas. Al distinguir entre modelo y tipo, Quatremère estaba diferenciando entre copia e imitación. El tipo tiene que ver con la imitación figurativa o ilusoria; el modelo con una copia directa, con la imitación real.

⁵ Madrazo argumenta que los tratados ilustrados de Serlio, Palladio, Scamozzi, Ledoux y Durand, contribuyeron a dar expresión a la noción de tipo por medio de recursos gráficos, sin explícitamente mencionar este término (Madrazo, 1995, pág. 12). En el caso específico de Durand, Madrazo afirma: “*The theoretical work of Jean-Nicolas-Louis Durand offers a different view of the notion of Type, which complements the one provided by Quatremere de Quincy. [...] His notion of Type does not stem from the theory of imitation, as does Quatremere’s, but rather, has its origins in the tradition of the illustrated treatise of Serlio and Palladio. As in the treatises of the Renaissance authors, a fundamental issue in Durand’s books is to arrive at a certain systematization of architectural knowledge by graphical means. But apart from the points of contact with previous works, Durand’s books gave expression to questions that were peculiar to the nineteenth century architectural debate, especially, the question of the relation between the architecture of the present time and the architecture of the past. In this connection, the idea of Type has for Durand a double meaning: first, it means a common principle that can be abstracted from the buildings of the past; second, it becomes the generative principle of the design process. In the course of the evolution of his theory, Durand progressively moved from one concept of Type to the other*” (Madrazo, 1995, págs. 203-204).

⁶ En su texto *Changing Ideals in Modern Architecture 1750–1950* (1965), Peter Collins describe la evolución del término “estilo” en la arquitectura, desde J.F. Blondel, quien a medianos del siglo XVIII lo usaba para indicar el “carácter” o propósito de un edificio, hasta finales de siglo, cuando se empezó a usar para describir varias etapas de la arquitectura (Collins, 1965, págs. 62-65).

encontrarse en la aplicación de unos principios que en el pasado habían conducido a la creación estilos propios de cada época. Sus propósitos estuvieron influenciados por la emergente ciencia de la biología. Adoptando la noción biológica de “estructura”, es decir, la organización de los órganos de un ser vivo, Semper y Viollet-le-Duc juzgaron los edificios en base a la organización funcional de sus componentes, más que por su apariencia. Su distinción entre los elementos resistentes del edificio (estructura) y los elementos decorativos anticipó uno de los fundamentos de la arquitectura moderna.

Entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX, los precursores del movimiento moderno creyeron que una nueva arquitectura solo podía surgir de la ruptura con la tradición, es decir, abandonando el corpus academicista de los estilos y los tipos existentes. Por tanto, la arquitectura moderna no debía ser un estilo más a añadir al proceso de desarrollo histórico, sino una nueva manera de concebir formas, sin estilo. Louis Sullivan, Le Corbusier y Frank Lloyd Wright proclamaron que la nueva arquitectura podía producirse a partir de la “función”, más que a partir de una forma o reglas predefinidas. La idea de “adaptación funcional”, una premisa básica en la moderna ciencia biológica (teoría evolutiva), se convirtió en un dogma para el movimiento moderno: al igual que las formas de la naturaleza se adaptaban a las condiciones de su entorno, las formas en la arquitectura debían adaptarse a las demandas y objetivos planteados por la sociedad. Así pues, lo que diferenciaba a los funcionalistas modernos de los arquitectos del pasado (o de los planteamientos funcionalistas del pasado) fue la consciencia de que la forma estaba condicionada por las características de la sociedad de la época, lo que representaba una adaptación en el ámbito de la arquitectura de la noción biológica de “sistema”, entendida como relación forma-entorno. En la arquitectura moderna, la reformulación del concepto de función en clave biológica dio lugar a “estilo funcional”, el “funcionalismo”.

A mediados del siglo XX, la cibernética ocupó el papel que había tenido la biología en el siglo XIX, convirtiéndose en una nueva fuente de paradigmas para la arquitectura. Al igual que en la biología, el modelo interpretativo de la cibernética se basó en la noción de sistema. Esta nueva ciencia, sin embargo, ponía mayor énfasis en los procesos de los sistemas que en la definición de sus propiedades. El sistema se entendía como una estructura organizada para actuar o realizar unas funciones en un determinado entorno mediante un proceso de retroalimentación (*feedback*), un mecanismo esencial para controlar que el sistema se encaminase hacia el cumplimiento de sus objetivos. Estas ideas fueron introducidas en el ámbito de la arquitectura remplazando a algunos conceptos derivados de la biología. Así, por ejemplo, el concepto de función influenciado por la biología fue reconsiderado a la luz del concepto de *performance*, que alude a la manera en que el sistema desempeña una función. Esto llevó a abandonar la idea de una función predeterminada del edificio para centrarse en su funcionamiento, a saber, cómo se usaría o percibiría el edificio. Esta revisión del funcionalismo moderno fue promovida por las vanguardias de la segunda posguerra, por el grupo Archigram, Yona Friedman, y los Metabolistas. Sus protagonistas principales, sin embargo, fueron Christopher Alexander, quien entendió la forma como un producto de la experiencia y de la percepción, así como Aldo Rossi, Robert Venturi y Peter Eisenman, para quienes la forma era una construcción intelectual. Al margen de estas dos maneras de interpretar la

performance del edificio, finalmente prevaleció una tercera, que aspiraba a integrar las capacidades comunicativas y físicas del edificio. Norman Foster, Nicholas Grimshaw y Toyo Ito, entre otros, crearon edificios icónicos cuya apariencia estaba determinada por su comportamiento físico. De este modo, así como el significado de la función biológica fue asimilado por la arquitectura hasta dar lugar a un estilo funcional, el concepto de *performance* originado en la cibernética dio lugar a un “estilo performativo”, o “performalismo” (*performalism*).

Partiendo de una revisión de la teoría de la arquitectura desde el siglo XIX hasta nuestros días, el objetivo de la primera sección de este capítulo es rastrear los conceptos que ponen de manifiesto la influencia de disciplinas como la biología y la cibernética en la noción de forma en la arquitectura. La sección se divide en dos partes. En primer lugar, se exploran los orígenes del concepto moderno de función en la biología y, a continuación, se explora el camino que ha seguido el concepto de *performance* desde la cibernética hasta la arquitectura.

2.1.1 Analogía biológica: el concepto moderno de función

En el periodo comprendido entre finales del siglo XVIII y la primera mitad del siglo XIX, se produjeron grandes progresos en los ámbitos de las ciencias naturales debido a los estudios sobre taxonomía y anatomía comparada, así como también sobre la evolución de las especies. Entre los trabajos más influyentes de esta época se encuentran los de Georges-Louis Leclerc, Conde de Buffon (*Histoire Naturelle*, 1749), Carl Linneus (*Species Plantarum*, 1753), Vicq d'Azyr (*Traité d'Anatomie et de Physiologie*, 1786) y George Cuvier (*Leçons d'Anatomie Comparée*, 1800). A Cuvier se debe el surgimiento de la moderna ciencia biológica, entendida como el estudio de los seres vivos. Sin embargo, el término “biología” (del griego «βίος» bios, vida, y «λογία» logía, tratado, estudio, ciencia) fue acuñado en 1802 por Jean-Baptiste de Lamarck (*Hydrogéologie*, 1802). En la misma época Johann Wolfgang von Goethe inventó la palabra “morfología” (del griego «μορφή» morph, forma, y «λογία» logía, tratado, estudio, ciencia), para definir el estudio de las leyes de formación en el ámbito orgánico e inorgánico. Lamarck formuló también una teoría evolutiva teleológica y progresista (*Philosophie Zoologique*, 1809) que se oponía a la visión regresiva o degenerativa planteada por Buffon. El paso siguiente en el estudio de la evolución de las especies lo dio Charles Darwin (*The Origin of Species*, 1859). Según Lamarck, los organismos se adaptaban a los cambios de su entorno y sus descendientes heredaban los rasgos adquiridos. Según Darwin, los cambios se producían en los organismos de forma espontánea y arbitraria, independientemente del entorno, sin un objetivo preciso. Si los cambios redundaban en una mejor adaptación al medio, se conservaban (evolución por selección natural). En consecuencia, las especies cambiaban porque las formas sin función (aquellas que no se adaptaban al entorno) no sobrevivían.

Desde mediados del siglo XIX, muchos de los términos empleados por la biología, como estructura, adaptación y organismo, se trasladaron a otros ámbitos, entre ellos la estética. En arquitectura, estos mismos conceptos se aplicaron en la interpretación y concepción de la forma, proporcionando modelos de referencia que iban más allá de lo visual y lo estético. En la base de este nuevo orden estaba el concepto de “función”, que constituyó una idea clave de la arquitectura moderna. Desde la antigüedad, la función se

había entendido como sinónimo de utilidad y adecuación al uso. Según Vitruvio, la utilidad (*utilitas*) era la condición fundamental para la belleza, mientras que en la teoría francesa del siglo XVIII-XIX se empleó el término conveniencia (*convenance*) para referirse a la adecuación del edificio al uso. El primero en aplicar el término función a la arquitectura fue Carlo Lodoli (1740) para indicar la dependencia entre el material y las fuerzas mecánicas.⁷ Sin embargo, cuando un siglo más tarde este término fue reformulado en clave biológica, asumió el significado de “propósito”.

Como sostiene Peter Collins (*Changing Ideals in Modern Architecture 1750–1950*, 1965), fue Louis Sullivan el primero en recurrir a la analogía biológica para explicar la forma arquitectónica.⁸ Por otro lado, Philip Steadman (*The Evolution of Designs, Biological Analogy in Architecture and the Applied Arts*, 1979), afirma que algunas de las ideas relacionadas con el concepto moderno de función habían sido introducidas antes por Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc y Gottfried Semper, en cuyas teorías abundaban las referencias biológicas. Sin embargo, tanto Semper como Viollet-le-Duc solo pueden ser considerados proto-funcionalistas, por haberse limitado a anticipar algunos temas propios de la arquitectura moderna sin llegar a formular una teoría funcionalista.

A finales del siglo XIX, la teoría de la arquitectura estaba influenciada por las ideas evolucionistas y especialmente por la idea de adaptación funcional al entorno. De hecho, con la extrapolación del concepto de función de la biología a la arquitectura también se traspasó el concepto de entorno (*milieu*) o medioambiente (*milieu ambiance*), el cual había sido introducido por el naturalista francés Étienne Geoffroy Saint-Hilaire para indicar el medio en el que se desarrollan los seres vivos. Al interpretar el concepto de entorno en términos sociológicos, Auguste Comte (*Système de politique positive*, 1851) concluyó que la relación hombre-sociedad (*milieu social*) era indispensable para la vida del hombre. Louis Sullivan, Frank Lloyd Wright y Le Corbusier concibieron el medio como un elemento determinante del edificio, como el conjunto de las condiciones sociales, económicas y culturales que daban lugar a su forma. Desde puntos de vistas distintos, estos arquitectos sugirieron que la forma de los edificios era dependiente de la función, mientras que la función venía determinada por la sociedad. En consecuencia, al cambiar las exigencias de la sociedad, también cambiaba las formas de los edificios (evolución). Para estos arquitectos, la forma derivada de la función constituía un principio generativo (determinismo funcional).

⁷ El término función fue introducido en las matemáticas en 1684 por Leibniz para describir un campo de variables; Leibniz afirmaba que una magnitud o variable es función de otra si el valor de la primera depende del valor de la segunda. Según Joseph Rykwert, Lodoli se apropió del término matemático *funzione*, para referirse a que los materiales son dependientes de las fuerzas mecánicas. En base a este planteamiento, Lodoli pensaba que la piedra debía ser piedra, actuar como tal y no intentar imitar a la madera. Más tarde, el término fue empleado por Francesco Milizia (1781) para criticar la decoración superflua.

⁸ En su texto *Changing Ideals in Modern Architecture 1750–1950* (1965) Peter Collins dedicó un capítulo a la analogía biológica en la arquitectura, en el que afirmaba que Sullivan fue el primero en hacer de las analogías biológicas la base de su credo arquitectónico. De acuerdo con Collins: “*The French Rationalists were in fact more interested in the idea that form follows structure (which they found quite intelligible without the use of elaborate analogies), so that there can be little doubt that it was Sullivan who first made biological analogies the foundation of a total architectural creed*” (Collins, 1965, pág. 155).

2.1.1.1 La forma como estructura: función como principio de la organización

El concepto de “función” fue fundamental para la moderna biología. Antes de que George Cuvier publicase *Leçons d'Anatomie Comparée* (1800), los estudios de los naturalistas se basaron en clasificar a los animales y plantas por sus características visibles. Carl Linnaeus, en *Species Plantarum* (1753), organizó los especímenes de la naturaleza según un sistema basado en el número, la proporción y disposición de las partes en el todo, sin hacer distinción entre las propiedades de los seres vivos e inanimados. Cuvier, por otra parte, analizó y clasificó los organismos según la relación entre sus órganos internos, es decir, en base a la función o papel que cada órgano desempeñaba.⁹ En base a este planteamiento, Cuvier formuló dos principios fundamentales de la anatomía comparada: el principio de “subordinación de los caracteres”, según el cual algunos órganos son más importantes que otros para el funcionamiento del organismo (el cerebro y el sistema nervioso, el corazón y el sistema circulatorio) y, por tanto, tenían un mayor peso a la hora de decidir las afinidades entre diferentes animales o plantas (jerarquización); y el principio de “correlación de las partes”, que hacía referencia a la estricta interdependencia funcional entre las partes de un organismo, de manera que se podía deducir la totalidad de cualquiera de ellas. Cuvier relacionaba estos dos principios con el concepto de “condiciones de existencia”, que recordaba a la noción de la causa final de Aristóteles: todas las partes de un cuerpo estaban coordinadas para la manutención de la vida del organismo (causa final).¹⁰ La estructura, por tanto, se entendió como una característica de los organismos vivos.

Los principios de clasificación y análisis de Cuvier, pueden verse reflejados en el planteamiento de los teóricos e historiadores de la arquitectura de mediados del siglo XIX, como Gottfried Semper y Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc, quienes interpretaron la forma como un conjunto de partes organizadas que cumplen una función dentro de un todo (estructura), más que una composición que obedecía a criterios de apariencia visual, como en la tradición anterior.¹¹ El concepto de estructura proviene del término latín

⁹ En *Leçons d'Anatomie Comparée*, Cuvier afirmaba: “*Tantôt c'est une espèce que l'on voudrait comparer à celles que l'on connaît déjà ; tantôt c'est un organe sur lequel on voudrait encore tenter quelques essais pour en mieux développer la structure. Dans d'autres endroits on a besoin de réflexions plus prolongées ; on ne sent pas encore assez bien l'ensemble de son objet, les rapports de ses parties*” (Cuvier, 1805, págs. xxi, Vol. I).

¹⁰ En *Le Règne Animal* (1817), Cuvier afirmaba: “*Comme rien ne peut exister s'il ne réunit les conditions que rendent son existence possible, les différentes parties de chaque être doivent être coordonnées de manière à rendre possible l'être total, non-seulement en lui même, mais dans ses rapports avec ceux qui l'entourent*” (Cuvier, 1817, pág. 6). Pese a la alusión al entorno de los organismos, el ambiente (*environment*) no tuvo un papel relevante en el pensamiento de Cuvier, el cual se centró casi exclusivamente en la relación de los órganos dentro del organismo. Para Cuvier las condiciones de existencia tienen que ver, antes que nada, con la condición de posibilidad de un ser vivo considerado en sí mismo como un todo. Cuvier no estaría defendiendo la adaptación funcional; esta posibilidad sería considerada más tarde por Lamarck y Darwin.

¹¹ Paralelamente a la labor de clasificación de naturalistas y botánicos como Linnaeus, los tratados de arquitectura del siglo XVIII, tales como los de Jacques-François Blondel (*Cours d'Architecture*, 1760) y más tarde de Jean-Nicolas-Louis Durand (*Recueil et parallèle des édifices en tout genre, anciens et modernes*, 1799-1801), clasificaban los edificios del pasado en base a su morfología. En su texto *The Evolution of Designs* (1979), Philip Steadman afirma que no se puede demostrar un paralelismo entre el método de clasificación de los naturalistas y los tratados de arquitectura del siglo XVIII. Más tarde, a mediados del siglo XIX, la taxonomía empleada en la biología se adoptó como modelo para la clasificación de los edificios.

structura, y se ha usado desde la Antigüedad para referirse a una construcción o fábrica (del verbo *struere*, construir); este era el sentido que tenía el término estructura (*structura*) para Leon Battista Alberti. Para Viollet-le-Duc y Semper, sin embargo, la estructura era lo que proporciona soporte y estabilidad al edificio, y se diferenciaba de la decoración o el revestimiento.¹²

Viollet-le-Duc nunca citó a Cuvier de manera directa, pero la mayoría de sus ideas provenían de la aplicación del método de anatomía comparada a la arquitectura.¹³ Viollet-le-Duc, de hecho, no se limitó a analizar las características visibles de los edificios del pasado, sino que además intentó comprender su lógica interna (Figura 1). Así como Cuvier distinguió entre el aspecto exterior y la organización interior de las plantas y animales, Viollet-le-Duc diferenció entre la forma (*forme*) o apariencia del edificio y el sistema portante o estructura (*structure*). Mientras que la forma era la parte visible del edificio, la estructura era una abstracción derivada de la lógica de la organización interna de las partes, siendo cada parte definida por su función o propósito. En el prefacio de su *Dictionnaire raisonné de l'Architecture Française du XI au XVI siècle* (1854–1868) Viollet-le-Duc explicaba que para entender la arquitectura gótica se debía analizar la sección del edificio, la única manera de conocer las funciones de sus partes: “[...] à les disséquer séparément, tout en décrivant les fonctions et les transformations de ces diverses parties” (Viollet-le-Duc, 1854, págs. VI, Vol.I). De hecho, en la arquitectura gótica cada parte de la estructura tenía un papel o función: “*Dans la structure du moyen âge, toute portion de l'œuvre remplit une fonction et possède une action*” (Viollet-le-Duc, 1854, págs. 33, Vol.VIII). La analogía biológica se hacía aún más evidente en la afirmación de que entre las diversas partes de una estructura existía una coordinación o coherencia funcional que permitía prefigurar la totalidad de la estructura, siempre que se conociera la función de cada una de ellas: “*Aussi, de même qu'en voyant la feuille d'une plante, on en déduit la plante entière; l'os d'un animal, l'animal entier: en voyant un profil, on en déduit les membres d'architecture; le membre d'architecture, le monument*” (Viollet-le-Duc, 1854, págs. 482, Vol.VIII). Este método deductivo era la transposición a la arquitectura del principio de “correlación de las partes” de Cuvier. Asimismo, Viollet-le-Duc se refería tácitamente al principio de “subordinación de las partes” de Cuvier, en su intento de clasificar los edificios en base a la similitud de sus elementos estructurales, más que por su ornamentación.

¹² El término estructura, tal como comenta Adrian Forty, ha transitado de la arquitectura a la biología, luego, de la biología ha vuelto a la arquitectura: “[...] '*structure*' is a metaphor, which, while it may have started in building, only returned to architecture after much foreign travel. [...] It would appear, then, that '*structure*' as term for the support system in architecture was originally a metaphor drawn from biology, and not from building - even if the biological usage may itself have been borrowed from building” (Forty, 2000, págs. 277-280).

¹³ Tal como afirma Philip Steadman en su texto *The Evolution of Designs* (1979), Viollet-le-Duc no hizo nunca referencia directa a los estudios de Cuvier, pero en su listado bibliográfico aparece el tratado de anatomía moderna *Leçons d'Anatomie Comparée* (1800).

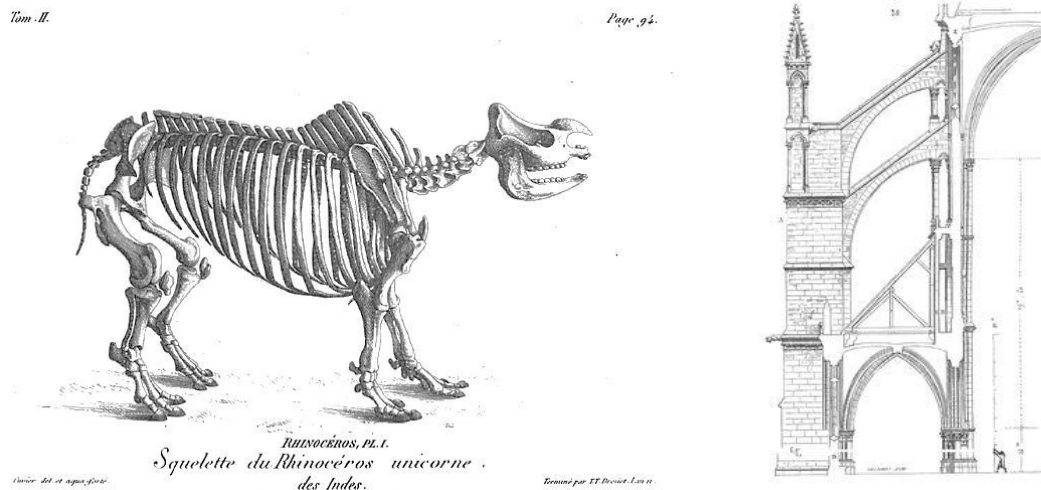


Figura 1. Izquierda: sección de un esqueleto de rinoceronte, George Cuvier. Fuente: (Cuvier, 1812). Derecha: sección de la Cathédrale d'Amiens, Viollet-le-Duc. Fuente: (Viollet-le-Duc, 1854).

Por medio de su análisis de la arquitectura gótica, Viollet-le-Duc descubrió en ella otro principio propio de las formas de la naturaleza: el principio de correspondencia entre la forma y la estructura. En *Entretiens sur l'architecture* (1860), Viollet-le-Duc afirmaba: “Il convient de constater d’abord qu’il est impossible de séparer la forme de l’architecture du XIII siècle de sa structure; tout membre de cette architecture est la conséquence d’un besoin de la structure, comme dans le genre végétal et animal il n’est pas un phénomène, un appendice qui ne soit le produit d’une nécessité organique. [...] Cette forme n’est pas le résultat d’un caprice, puisqu’elle n’est que l’expression, décorée si vous voulez, de la structure. [...] imposez-moi une structure, je vous trouverai naturellement les formes qui doivent en résulter; mais si vous changez la structure, il me faudra changer les formes, non dans leur esprit, puisque cet esprit est précisément d’exprimer la structure, mais dans leur apparence, puisque cette structure change” (Viollet-le-Duc, 1863, págs. 284-285, Vol.I). Viollet-le-Duc llegó a la conclusión de que otras arquitecturas del pasado, como la romana y la griega, eran la manifestación de un principio según el cual la forma coincidía con la estructura y, por lo tanto, sus construcciones tenían “estilo”: “Le style est la manifestation d’un idéal établi sur un principe [...]. Si nous suivons toutes les phases de la création inorganique et organique terrestre, nous reconnaissons bientôt, dans toutes ses œuvres les plus variées et même les plus différentes en apparence, cet ordre logique qui part d’un principe, d’une loi établie à priori, et qui ne s’en écarte jamais. C’est à cette méthode que toutes ces œuvres doivent le style dont elles sont comme pénétrées” (Viollet-le-Duc, 1854, págs. 475-477, Vol.VIII).¹⁴ A partir de estas reflexiones, Viollet-le-Duc intentó explicar la

¹⁴ Tal como argumenta Madrazo, en el siglo XIX la noción de estilo llegó a solaparse con la noción de tipo: “At the outset, a basic distinction between Type and Style can be suggested. Type refers to the internal form underlying diverse works in differing historical periods, and therefore, it knows no temporal barriers. Style, on the other hand, would refer to the external forms that characterize the works of a particular historical moment or author. But this basic distinction between Type and Style is not always true. In the architectural theory of the nineteenth century, the meanings of both terms often overlapped” (Madrazo, 1995, pág. 227). De hecho, la definición del concepto de estilo de Viollet-le-Duc recordaba la noción de tipo formulada por Quatremère de Quincy: “[...] the notion of ‘style’ held by Viollet-le-Duc reminds us of the concept of ‘type’ formulated earlier by Quatremere. Despite the different terms used by the two authors, both invoked a

razón de la existencia de diversas formas o “estilos”.¹⁵ Sostenía que si bien las formas de la arquitectura –los edificios griegos, romanos y góticos– eran muy distintas, se caracterizaban por una ley de unidad (*unité*). Para Viollet-le-Duc la unidad estilística era la base de la creación de toda obra: “*Dans toute conception d’art, l’unité est certainement la loi première, celle de laquelle toutes les autres dérivent. [...] En deux mots, la création, c’est l’unité; le chaos, c’est l’absence de l’unité*” (Viollet-le-Duc, 1854, págs. 339-341, Vol.IX). La unidad, sin embargo, no se refería solamente a la coherencia entre función y forma (como contemplaba la noción de estilo), sino abarcaba la influencia de las condiciones materiales y constructivas (es decir, el entorno) sobre la forma.¹⁶ La unidad se revelaba en la arquitectura por medio de la estructura. Así, Viollet-le-Duc afirmaba: “*C’est donc sur la structure, d’abord, qu’en architecture la loi d’unité s’établit [...] La nature n’a pas procédé autrement [...] Le mode de structure changeant, la forme diffère nécessairement, mais il n’y a pas une unité grecque, une unité romaine, une unité du moyen âge. Un chêne ne ressemble point à un pied de fougère, ni un cheval à un lapin; végétaux et animaux obéissent cependant à l’unité organique qui régit tous les individus organisés*” (Viollet-le-Duc, 1854, págs. 341, Vol.IX). La estructura, por tanto, no era solo un soporte físico, sino también un principio abstracto por medio del cual se manifestaban los estilos. Esencialmente, Viollet-le-Duc afirmaba que los cambios en la estructura determinados por el medio, o las mismas técnicas constructivas aplicadas en tiempos y lugares distintos, estaban en el origen de la evolución de las formas.¹⁷ De ahí concluía que aplicando en el presente el mismo principio (los materiales y métodos constructivos propios de la época) que en el pasado habían dado lugar a otros estilos, se podría crear un nuevo estilo, el estilo del siglo XIX.¹⁸

generic principle inherent in nature that the architect must imitate: ‘style’, in the case of Viollet, ‘type’ in the case of Quatremère” (Madrazo, 1995, pág. 259).

¹⁵ En la sección “Style” del *Dictionnaire raisonné de l’Architecture Française du XI au XVI siècle* (1854–1868), Viollet-le-Duc distinguía entre los términos “estilo” y “estilos”. Aunque en la historia de la arquitectura se solía tratar la arquitectura griega, romana o gótica como si fueran diversos estilos, el autor francés afirmaba que era más apropiado hablar de “formas”: “*Les styles d’architecture grecque, romaine, byzantine, romane, gothique, diffèrent entre eux de telle sorte, qu’il est aisé de classer les monuments produits de ces arts divers. Il eût été plus vrai de dire: la forme grecque, la forme romane, la forme gothique, et de ne pas appliquer à ces caractères particuliers de l’art le mot style; mais l’usage s’étant prononcé, on admet: le style grec, le style romain, etc.*” (Viollet-le-Duc, 1854, págs. 474, Vol.VIII).

¹⁶ De acuerdo con Steadman: “[...] a connection is now established between the external ‘environmental’ conditions in which a building is produced, and that coordination or coherence, that necessary relation of the parts, which in the previous ‘anatomical’ discussion we had treated as wholly internal to the body or the building in itself. Cuvier had related the ‘conditions of existence’ to the ‘correlation of parts’. This relation now has its counterpart in the architectural analogy” (Steadman, 1979, pág. 58).

¹⁷ En *Entretiens sur l’architecture* (1860), Viollet-le-Duc afirmaba: “*On a pu reconnaître ainsi qu’il est des lois dans cet art qui dependent du génie humain, quel que soit le milieu dans lequel il se développe. Mais il en est d’autres qui sont évidemment la conséquence de faits matériels, tels que, par exemple : la nature des matériaux, la façon de les mettre en œuvre, les habitudes particulières résultant du climat, de certaines aptitudes de races, de la richesse plus ou moins développée, du goût pour le luxe, de la nécessité, de l’état policé d’un peuple*” (Viollet-le-Duc, 1863, págs. 432, Vol.IX).

¹⁸ Según Steadman, Viollet-le-Duc aludía a la noción de sistema que la biología empleaba para describir la relación entre un organismo y su entorno, aunque no estaba defendiendo que el entorno influyese en la forma (teoría funcionalista). Así Steadman afirmaba: “[...] it would be wrong to imply that Viollet-le-Duc imagined a complete determinism in the way in which the style of building reflected the changes in ‘environment’, in function or in structural methods. On the contrary it was the highest achievement of art to produce this unity, this adaptation of form to purpose (which was by no means to be found in every

A diferencia de Viollet-le-Duc, Gottfried Semper invocó explícitamente el método de Cuvier,¹⁹ para crear su propia versión de los orígenes y la evolución de la arquitectura. En su texto *Die vier Elemente der Baukunst* (1850-51), traducido como *The Four Elements of Architecture and Other Writings* (1989), Semper afirmaba: “*In ancient and modern times the store of architectural forms has often been portrayed as mainly conditioned by and arising from the material, yet by regarding construction as the essence of architecture we, while believing to liberate it from false accessories, have thus placed it in fetters. Architecture, like its great teacher, nature, should choose and apply its material according to the laws conditioned by nature, yet should it not also make the form and character of its creations dependent on the ideas embodied in them, and not on the material?*” (Semper, 1989, pág. 102). Así como Cuvier interpretó los organismos a partir de la función de sus órganos internos, Semper entendió el edificio como un conjunto de elementos con funciones distintas.²⁰ Semper reconocía cuatro elementos o partes constituyentes del edificio: “*The first sign of human settlement and rest after the hunt, the battle, and wandering in the desert is today, as when the first men lost paradise, the setting up of the fireplace and the lighting of the reviving, warming, and food-preparing flame. Around the heart the first groups assembled; around it the first alliances formed; around it the first rude religious concepts were put into the customs of a cult. [...] It is the first most important, the moral element of architecture. Around it were grouped the three other elements: the roof, the enclosure, and the mound*” (Semper, 1989, pág. 102). Los cuatro elementos (el hogar/espacio, la base, el techo/estructura y el cerramiento), se

historical style at every period); it could be brought about, as mentioned, only by the application of intelligence and reason, and through artistic sensitivity” (Steadman, 1979, pág. 58). En esta misma tónica, Adrian Forty afirmaba que: “[...] *Viollet-le-Duc recognized the significance of social conditions (indeed, in Lecture X it was an important part of his argument in explaining why the same principles of construction, when applied in different times and places, produced different results) it was presented only in general terms and there was no reciprocal theory of the action of buildings upon society*” (Forty, 2000, pág. 192).

¹⁹ Según explican Steadman y Madrazo, Semper visitó la exposición de fósiles de Cuvier en el Jardín des Plantes de París, donde quedó impresionado por la clasificación de la gran variedad de formas orgánicas. Semper dijo al respecto: “*In this magnificent collection [...] we perceive the types for all the most complicated forms of the animal empire, we see progressing nature, with all its variety and immense richness, most sparing and economical in its fundamental forms and motives; we see the same skeleton repeating itself continuously, but with innumerable varieties, modified by gradual developments of the individuals and by the conditions of existence which they had to fulfil [...] If we observe this immense variety and richness of nature notwithstanding its simplicity may we not by Analogy assume, that it will be nearly the same with the creations of our hands, with the works of industrial art? [...] a method, analogous to that which Cuvier followed, applied to art, and especially to architecture would at least contribute towards getting a clear insight over its whole province and perhaps also form the basis of a doctrine of ‘style’*”. Manuscrito “Lecture, Department of Practical Art, London, 11 November”, MS 122, Archiv GTA (Geschichte und Theorie der Architektur), ETH Zürich. Citado en (Madrazo, 1995, págs. 237-238). Aquí, Madrazo concluye: “*The idea of Type that Semper presents in the manuscript of the London lecture has still something in common with the one held previously by Quatremere. Both, Quatremere and Semper, think of Type as a fundamental principle embedded in the works of nature and both also think of Type as the link between the world of nature and the word of art. Similarly to Quatremere, Semper explicitly referred to Type as the nexus between analysis and synthesis; that is to say, as the link between the systematic understanding of precedent works and the creation of a new work of architecture*” (Madrazo, 1995, pág. 239).

²⁰ A partir de sus estudios de anatomía comparada, Cuvier dividió el reino animal en cuatro especies: radiados, moluscos, articulados y vertebrados. De acuerdo con Adrian Forty: “*It may be no coincidence that Semper identified in architecture the same number of ‘types’-four- as the biologist Cuvier, whose system he referred to frequently, had in the animal kingdom*” (Forty, 2000, pág. 306).

correspondían a cuatro materiales (la cerámica, la piedra, la madera y el tejido) y técnicas (el arte de la cerámica, la estereotomía, la carpintería y las artes textiles como la cestería y los tapices). Semper, sin embargo, refutando las teorías materialistas de Vitruvio, desplazó el énfasis de los materiales y las técnicas constructivas al papel o función de los elementos en el edificio. El ejemplo que para Semper representaba la evidencia de la relación entre los cuatro elementos era la cabaña caribeña (Figura 2). En ella están representados los cuatro elementos: el hogar; la base en la que se asienta; el techo que cubre, apoyado en sus propios soportes; y el recinto que circunda el espacio, pero que no sirve de apoyo al techo. Al igual que Viollet-le-Duc, Semper entendió la estructura como un soporte mecánico independiente de otras partes del edificio.²¹

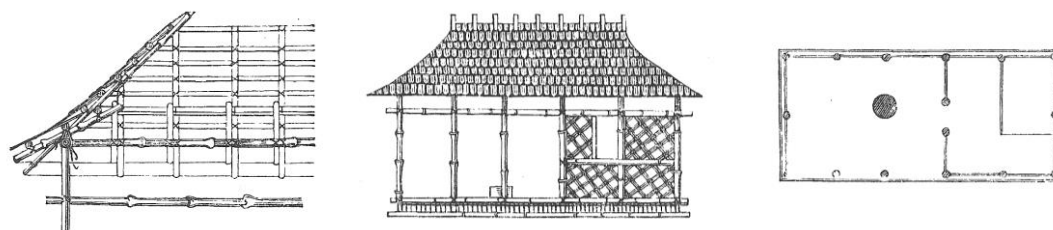


Figura 2. Cabaña caribeña. Fuente: (Semper, 2004).

El conjunto de los cuatro elementos (el hogar/espacio, la base, el techo/estructura y cerramiento), constituía para Semper la esencia de la noción de tipo.²² En cada forma se podían distinguir estos cuatro elementos. Es más, Semper planteó que la variedad de formas dependía de la variación en la combinación de los cuatro elementos provocada por las condiciones del entorno: “*According to how different human societies developed under the varied influences of climate, natural surroundings, social relations, and different racial dispositions, the combinations in which the four elements of architecture were arranged also had to change, with some elements becoming more developed while others receded into the background*” (Semper, 1989, pág. 103). Para Semper el estilo representaba la conformidad de una obra de arte o de arquitectura con el contexto en que se producía.²³ Esencialmente, las diferentes condiciones del entorno (clima, cultura, materiales) modificaban los elementos básicos para dar lugar a diversos estilos.

Las teorías de Semper y Viollet-le-Duc fueron revolucionarias porque rechazaron el planteamiento de las teorías clásicas, basadas en la aplicación de unos tipos fijados según ideales clásicos (orden y proporción). Aunque ambas teorías tuvieron origen en la

²¹ En su texto *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten, oder, Praktische Aesthetik* (1860), traducido como *Style in the Technical and Tectonic Arts; or, Practical Aesthetics* (2004) Semper afirmaba: “*Scaffolds that served to hold, secure, or support this spatial enclosure had nothing directly to do with ‘space’ and the ‘division of space.’ They were foreign to the original architectural idea and were never form-determining elements to start with*” (Semper, 2004, pág. 248).

²² Tal como afirma Madrazo: “*These four elements represent Semper's interpretation of the notion of Type*” (Madrazo, 1995, pág. 241).

²³ Según argumenta Steadman (Steadman, 1979, pág. 61), Semper describió su concepto de estilo en el panfleto *Wissenschaft, Industrie und Kunst* (1852), en términos de una formulación algebraica: $Y = F(x, y, z, \text{etc.})$, donde Y representaba la gama de posibles estilos que derivaban de la modificación del tipo por los factores materiales, climáticos y culturales del entorno. Así, al igual que Viollet-le-Duc, Semper consideró el concepto biológico de sistema (forma-entorno), pensando el estilo como el conjunto compuesto de dos elementos: la forma y los factores externos que influyen en su desarrollo (Madrazo, 1995, pág. 246).

misma analogía biológica y guardaban un cierto parecido (la diferencia entre los términos tipo y estilo planteada por Semper recuerda la diferencia entre estilo y estilos de Viollet-le-Duc), llegaron a dos conclusiones distintas. Viollet-le-Duc afirmaba que la forma debía coincidir con la estructura, sugiriendo que todos los elementos de un edificio obedecían a una razón de ser. Se deducía de ello que se podría prescindir de aquello que no se pudiese justificar con la razón (racionalismo), un argumento que anticipaba el que utilizó luego Loos para refutar el ornamento en la arquitectura. Por otro lado, Semper no pensaba que la forma tuviese que coincidir con la estructura. Semper diferenciaba los propósitos de las partes de un edificio: el cerramiento y la estructura no estaban indisolublemente unidos en el muro de carga para delimitar el espacio. Para él, la estructura resistente era un elemento secundario respecto de la envolvente, que tenía la función fundamental de configurar el espacio.²⁴ Más tarde, en la arquitectura de acero del Chicago de los años 1880-90, se materializó esta separación entre la envolvente y la estructura. En definitiva, ambos autores anticiparon algunas de las ideas que luego constituyeron los fundamentos de la arquitectura moderna, aunque no llegaron a formular propiamente una teoría funcionalista, según la cual la forma debería expresar la función en los términos prescritos socialmente.

2.1.1.2 La forma como evolución: la forma se adapta a la función

Otra vía para explorar la influencia de la analogía biológica en el concepto de función es la que deriva de la teoría orgánica de la forma, desarrollada a principios del siglo XIX por los filósofos románticos alemanes Schlegel y Schiller, quienes consideraron la forma no tanto en los términos de un equilibrio estático, sino como el resultado de un proceso de formación específico. Schlegel estableció una teoría de la creación basada en la distinción entre la “forma mecánica”, que era el resultado de la aplicación de una fuerza externa, y la “forma orgánica”, que provenía de una fuerza interior. Así, en *Course of Lectures on Dramatic Art and Literature* (1815), Schlegel afirmaba: “*Form is mechanical when it is imparted through external force. [...] Organic form, on the contrary, is innate; it unfolds itself from within, and reaches its determination simultaneously with the fullest development of the seed. [...] In the fine arts as well as in the domain of nature [...] all genuine forms are organic*” (Schlegel, 1815, pág. 335). Este planteamiento encerraba la oposición entre el arte clásico, cuyas formas eran regulares, predeterminadas y derivaban de la aplicación de reglas estereotipadas, y el arte romántico, cuyas formas eran singulares e inmanentes. El principio de la forma orgánica recordaba un problema planteado inicialmente por Aristóteles, quien afirmaba que la esencia era la causa primera de las cosas.²⁵

²⁴ En su texto *Das Prinzip der Bekleidung in der Baukunst* (1898), Semper argumentaba que la arquitectura tuvo su origen en las técnicas textiles. Así, al mito de una estructura constructiva trilitica, ennoblecida en el orden arquitectónico, Semper contrapuso el mito de una envoltura delimitadora del espacio, cuya característica es la ligereza, y respecto de la cual la estructura se encuentra subordinada, siendo tan solo el soporte.

²⁵ En el libro I de la *Metafísica*, Aristóteles afirmaba: “*Evidentemente es preciso adquirir la ciencia de las causas primeras, puesto que decimos que se sabe, cuando creemos que se conoce la causa primera. Se distinguen cuatro causas. La primera es la esencia, la forma propia de cada cosa, porque lo que hace que una cosa sea, está toda entera en la noción de aquello que ella es; y la razón de ser primera es, por tanto, una causa y un principio. La segunda es la materia, el sujeto; la tercera el principio del movimiento; la*

El poeta Samuel Taylor Coleridge popularizó la teoría orgánica en Inglaterra, que luego adoptaron el filósofo trascendentalista norteamericano Ralph Waldo Emerson y el escultor Horatio Greenough.²⁶ En su texto *Form and Function: Remarks on Art, Design, and Architecture* (1843), Greenough sostenía: “*Instead of forcing functions of every sort of building into one general form, without reference to the inner distribution, let us begin from the heart as a nucleus, as work outward*” (Greenough, 1843, págs. 61-62). Para Greenough, el edificio debía concebirse a partir de su función, desde el interior hacia el exterior. Siguiendo el hilo de la analogía biológica, Greenough afirmaba que la forma debía adaptarse a la función, tal como lo hacían las formas de la naturaleza: “*The law of adaptation is the fundamental law of nature in all structures. [...] If there be any principle of structure more plainly inculcated in the works of the Creator than all others, it is the principle of unflinching adaptation of forms to functions*” (Greenough, 1843, pág. 118). Sin embargo, a pesar de sus postulados aparentemente modernos, no se puede afirmar que Greenough fuera capaz de anticipar la adaptación de la forma a la función en su sentido moderno. De hecho, su noción de función era aún heredera de las ideas del siglo XVIII, de las nociones de carácter y expresión: “[...] *the unflinching adaptation of a building to its position and use gives, as a sure product of that adaptation, character and expression*” (Greenough, 1843, págs. 61-62).²⁷ Fue más tarde Louis Sullivan quién planteó la necesidad de que la forma respondiese a las características de la sociedad.

Del planteamiento de los románticos alemanes Sullivan tomó la noción metafísica de forma como expresión del desarrollo de una fuerza interior o esencia. De hecho, la semilla o germen fue una imagen recurrente en sus escritos. En su texto *A System of Architectural Ornament* (1924), Sullivan sostiene: “*The Germ is the real thing; the seat of identity. Within its delicate mechanism lies the will to power: the function which is to seek and eventually to find its full expression in form*” (Sullivan, 1924, pág. 1). Así como en la naturaleza la semilla contenía la esencia o fuerza vital del crecimiento de la planta, también en la arquitectura la forma era expresión de su esencia, identidad, destino o función. Por lo tanto, la forma tenía un carácter metafísico, pertenecía al mundo de las “ideas”. Es decir, la forma no era solamente una propiedad de las cosas, sino también una entidad apriorística (idea). Así lo contemplaba en *Kindergarten Chats* (1918): “[...]”

cuarta, que corresponde a la precedente, es la causa final de las otras, el bien, porque el bien es el fin de toda producción”.

²⁶ El poeta Samuel Taylor Coleridge hizo suya la antítesis schlegeliana entre arte mecánico y orgánico. En su texto *Notes and Lectures upon Shakespeare and some of the Old Poets and Dramatist with Other Literary Remains* (1849), Coleridge afirmaba: “*The true ground of the mistake lies in the confounding mechanical regularity with organic form. The form is mechanic, when on any given material we impress a pre-determined form, not necessarily arising out of the properties of the material; as when to a mass of wet clay we give whatever shape we wish it to retain when hardened. The organic form, on the other hand, is innate; it shapes, as it develops itself from within, and the fullness of its development is one and the same with the perfection of its outward form. Such as life is, such is the form*” (Coleridge, 1849, pág. 65).

²⁷ En la teoría francesa del periodo que abarca los siglos XVII y XVIII, el concepto de “carácter” connotaba las características de la composición o las reglas de decoración establecidas en relación a la naturaleza del edificio (sagrada, épica o pastoral). Para Blondel los edificios con el mismo uso, por ejemplo, los de uso religioso, debían concebirse en base a su carácter, siendo un monasterio más elaborado que una parroquia. Así, la originalidad de Greenough reside en haber vinculado el concepto de carácter con la función. Greenough afirmaba que el carácter del edificio dependía de su organización interior y no de su aspecto visual; la organización interior también se reflejaba en su expresión exterior.

generally speaking outer appearances resemble inner purposes. For instance, the form, oak-tree, resembles and expresses the purpose or function, oak; the form, pine-tree, resembles and indicates the function, pine; the form, horse, resembles and is the logical output of the function, horse [...]” (Sullivan, 1947, pág. 43).²⁸ El concepto de forma de Sullivan ponía en relación campos ontológicamente diferenciados, el de la materia y de la idea.²⁹ Esta relación de la forma con su función o propósito influiría posteriormente en las ideas de Louis Kahn, quién solía preguntarse: “*What does a building want to be?*”. También para Kahn la forma existía independientemente de su realización material.

La teoría orgánica de la forma de Sullivan deriva de su conocimiento sobre las teorías evolutivas, especialmente la idea de adaptación funcional al entorno.³⁰ De hecho, Sullivan propuso que, tanto en los organismos como en las creaciones artísticas, la forma era dependiente de la función. Mientras que para el organismo la función deriva de su adaptación al entorno, en la creación de un edificio la función la determina los condicionantes de la época. Las formas en la arquitectura debían responder a las condiciones de cada sociedad, del mismo modo que las formas de la naturaleza se adaptaban a las condiciones de su entorno. Al cambiar una sociedad, también cambiaban las formas que en esta se creaban. Así, cuando a finales del siglo XIX fueron necesarios edificios de oficinas en altura, Sullivan afirmaba que eran necesarias nuevas formas capaces de expresar esta nueva exigencia o función. En su artículo “*The Tall Office Building Artistically Considered*” (1896), Sullivan sostiene: “*The architects of this land and generation are now brought face to face with something new under the sun namely, that evolution and integration of social conditions, that special grouping of them, that results in a demand for the erection of tall office buildings. It is not my purpose to discuss the social conditions; I accept them as the fact, and say at once that the design of the tall office building must be recognized and confronted at the outset as a problem to be solved a vital problem, pressing for a true solution. [...] Problem: How shall we impart to this sterile pile, this crude, harsh, brutal agglomeration, this stark, staring exclamation of eternal strife, the graciousness of these higher forms of sensibility and culture that rest*

²⁸ *Kindergarten Chats* fue originariamente concebido como una serie de 52 artículos que aparecieron semanalmente en la revista *Interstate Architect and Builder* desde el 16 de febrero de 1901 hasta el 8 de febrero de 1902. A pesar de las extensas revisiones de Sullivan durante el año 1918, estos artículos no se publicaron en forma de un solo volumen hasta el año 1934 (editado por Claude Bragdon), diez años después de la muerte de Sullivan. Los fragmentos de textos que se consideran en este trabajo se refieren a la versión corregida por Sullivan del año 1918, recopilados en una publicación del 1947 editada por Wittenborn & Schultz.

²⁹ En su *Kindergarten Chats* (1918), Sullivan sostiene: “*I suppose if we call a building a form, then there should be a function, a purpose, a reason for each building, a definite explainable relation between the form, the development of each building, and the causes that bring it into that particular shape; and that the building, to be good architecture, must, first of all, clearly correspond with its function, must be its image, as you would say*” (Sullivan, 1947, pág. 46).

³⁰ En *Autobiography of an Idea* (1924), Sullivan escribía: “*Louis's interest in engineering as such, and in the two bridges in particular, so captivated his imagination, that he briefly dreamed to be a great bridge engineer. [...] But the practical effect of the bridges was to turn Louis's mind from the immediate science of engineering toward science in general, and he set forth, with a new relish, upon a course of reading covering Spencer, Darwin, Huxley, Tyndall, and the Germans, and found a new, an enormous world opening before him, a world whose boundaries seemed destined to be limitless in scope, in content, in diversity*” (Sullivan, 1924, pág. 249). Básicamente, Sullivan afirmaba conocer las teorías evolutivas de Darwin y su aplicación a las estructuras sociales de Herbert Spencer, quien usaba la expresión “supervivencia del más apto” para referirse a la selección natural.

on the lower and fiercer passions? How shall we proclaim from the dizzy height of this strange, weird, modern housetop the peaceful evangel of sentiment, of beauty, the cult of a higher life? This is the problem; and we must seek the solution of it in a process analogous to its own evolution indeed, a continuation of it namely, by proceeding step by step from general to special aspects, from coarser to finer considerations” (Sullivan, 1896, pág. 403). El reto para Sullivan no era tanto de naturaleza estructural, ya que la mayor parte de los obstáculos físico-mecánicos para construir edificios en altura ya se habían resuelto, sino que más bien radicaba en dar una respuesta formal y estética a las nuevas necesidades del edificio. Sullivan pensaba que el nuevo edificio en altura –*tall building*– no debía perpetuar las formas de otras épocas, tal como venían haciendo los arquitectos neoclásicos, pero tampoco podía limitarse a la superposición de plantas idénticas como se había hecho en los primeros edificios de la Escuela de Chicago.³¹ Así como en la naturaleza cada forma correspondía a una función, en la arquitectura cada función debía tener una forma distinta: “*All things in nature have a shape, that is to say, a form, an outward semblance, that tell us what they are, that distinguishes them from ourselves and from each other. Unfailing in nature these shapes express the inner life, the native quality, of the animal, tree, fish, that present to us; they are so characteristic, so recognizable, that we say, simply, it is ‘natural’ it should be so. [...] Unceasing the essence of things is taking shape in the matter of things. [...] It is the pervading law of all things organic, and inorganic, of all things physical and metaphysical, of all things human and all things superhuman, of all true manifestations of the head, of the heart, of the soul, that the life is recognizable in its expression, that ‘form ever follows function’. This is the law. Where function does not change, form does not change”* (Sullivan, 1896, págs. 407-408). Este principio que Sullivan tomó de la naturaleza para solucionar el problema de la forma del “edificio en altura” (la forma deriva de la función) anticipaba la idea cibernética de la existencia de una ley común a todas las creaciones, naturales y humanas, físicas e intelectuales.

El principio de que la forma debía expresar la función lo aplicó Sullivan en el Wainwright Building (1890) de Saint Louis (Missouri), un edificio que conservaba las

³¹ En la década de 1880 el desarrollo de Chicago como enclave comercial llevó al rápido incremento de grandes almacenes y edificios de oficinas para firmas comerciales y compañías aseguradoras. Pronto también surgieron edificios para satisfacer otra demanda, como hoteles y teatros. La Escuela de Chicago, inaugurada por el ingeniero William Le Baron Jenney, está asociada con los orígenes del edificio de oficinas moderno. Para satisfacer la demanda de grandes edificios de oficinas en altura, se emplearon nuevas técnicas y materiales de la construcción (hierro y hormigón), que hasta entonces se habían empleado solo en puentes y construcciones industriales. En su Leiter Building (1879), Le Baron Jenney sustituyó los pesados muros de fábrica por un esqueleto estructural con pilares de mampostería en las fachadas y columnas de fundición en el interior. Más tarde levantó el Home Insurance Building (1885) con una estructura completamente metálica. El esqueleto estructural se convirtió en un medio para la expresión arquitectónica de estos edificios, compuestos de plantas iguales superpuestas y fachadas homogéneas con amplios huecos de vidrios. Una excepción a esta tendencia fue el almacén mayorista Marshall Fields (1885), de Henry Hobson Richardson, que pese a ser realizado con muros macizos y recordar a un *palazzo* italiano del Renacimiento, encontró una nueva fuerza expresiva en el uso combinado de diversos materiales. El mismo Sullivan se inspiró en este edificio para realizar el Auditorium Building (1889), con una fachada que expresaba a través del tamaño y organización de los huecos el programa mixto del edificio (hotel, oficina, teatro). Este método compositivo se aplicó más tarde en los edificios de oficinas en altura. La comisión para el Wainwright Building (1890) representó un punto de inflexión en la creación de una nueva estética del edificio en altura.

mismas proporciones del Home Insurance Building (1885) de William Le Baron Jenney y que llegó a convertirse en el paradigma del rascacielos moderno (Figura 3). A diferencia de la obra maestra de la Escuela de Chicago, en la que el esqueleto estructural era el factor dominante y el medio de expresión arquitectónica, Sullivan compuso la fachada en tres partes claramente diferenciadas cada una con una función: comercio, oficinas y equipamientos. Posteriormente, Sullivan remodeló los almacenes Carson, Pirie, Scott and Company Building (1899-1904). Tal como lo había hecho Jenney en su Leiter Building (1879), Sullivan empleó un esqueleto neutro (*cage construction*) y unas ventanas alargadas en horizontal que coincidían con el entramado del esqueleto (“ventanas de Chicago”). Pese al parecido, el edificio de Jenney tenía aspecto de una fábrica anónima debido a su fachada homogénea, mientras que en el edificio de Sullivan se distinguía la planta baja comercial de las oficinas por medio de amplios escaparates conectados por una línea de ornamentación (Figura 4). Al explicar sus trabajos, Sullivan concluía: “*For a great work, for us, must be an organism –that is, possessed of a life of its own; an individual life that functionates in all parts; and which find its variations in expression of its main function, and in the consequent, continuous, systematic variations in form, as the organic complexity of expression unfold; all proceeding from one single impulse of desire to express our day and our needs: to seek earnestly and faithfully to satisfy those needs*” (Sullivan, 1947, pág. 160). En definitiva, el principio vital de la forma, según Sullivan, se encontraba en su capacidad de expresar la función. La forma orgánica, por tanto, se entendía como la unidad y coherencia de la forma con su época. Estas ideas de Sullivan fueron bien recibidas en Europa, donde se difundieron gracias a Hendrik Petrus Berlage y Alfred Messel. La Bolsa de Ámsterdam (1896) de Berlage era la expresión de un emporio comercial, mientras que los Grandes Almacenes Wertheim (1896) de Messel expresaban su condición de tienda colosal.³²

³² En su texto *Der Moderne Zweckbau* (1926), Adolf Behne explica que el proyecto para la Bolsa de Amsterdam pasó por varias etapas y versiones. El primer proyecto podía servir indistintamente para un teatro, un museo, una estación, un restaurante o un castillo. La versión que finalmente se construyó era la expresión del emporio comercial. Asimismo, Behne afirmaba que Messel concibió los Grandes Almacenes a partir de una única función –exponer los productos– que fue llevada hasta el extremo: aunque los pisos más altos no pueden funcionar como escaparates, la planta baja se repite en todas las plantas. La expresión más pura y auténtica de los grandes almacenes modernos son los Grandes Almacenes de Louvre (1877): el escaparate está dispuesto solo en la planta baja, donde corresponde y tienen una finalidad, mientras que los pisos superiores se repiten en altura hasta llegar a la cubierta que, con su línea curva, alberga el depósito.



Figura 3. Izquierda: Home Insurance Building (1885), William Le Baron Jenney. Fuente: Harvard University Graduate School of Design. Derecha: Wainwright Building (1890), Louis Sullivan. Fuente: Fotografía de Lester Jones (1940), Library of Congress Washington, D.C.

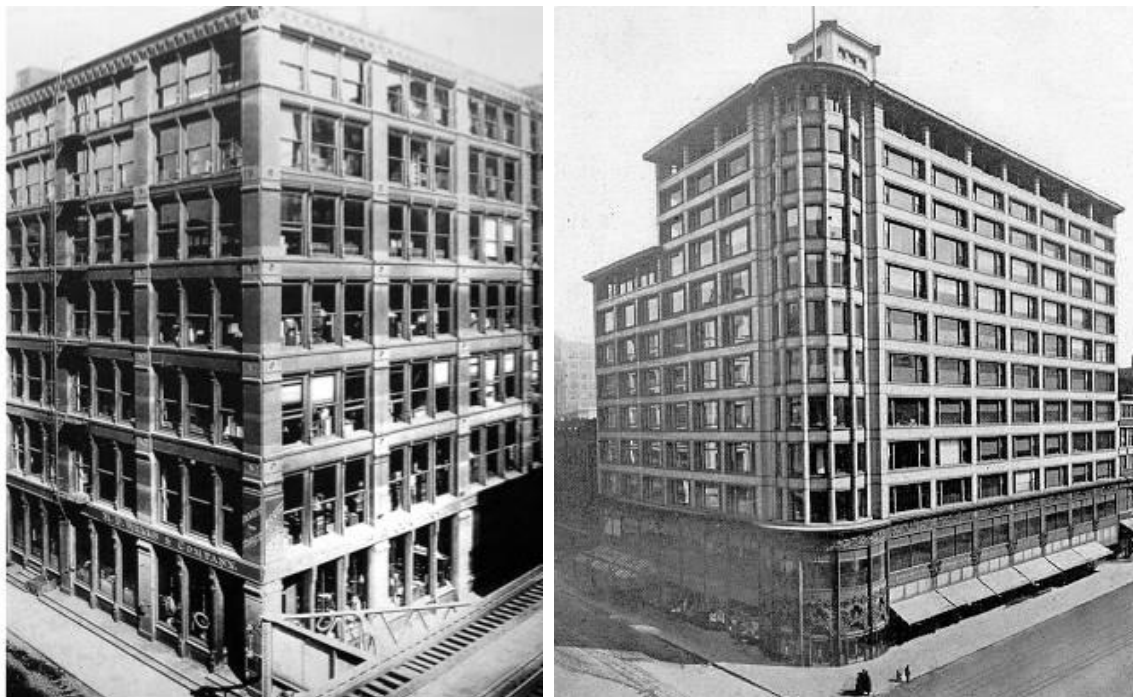


Figura 4. Izquierda: Leiter Building (1879), William Le Baron Jenney. Fuente: (Giedion, 1941). Derecha: Carson, Pirie, Scott and Company Building en Chicago (1899-1904), Louis Sullivan y Dankmar Adler. Fuente: Boston College Digital Archive of American Architecture.

Con respecto a la aplicación de la analogía biológica, Sullivan no diferenció entre la idea de evolución como crecimiento individual del organismo (teoría orgánica) y la de la especie/tipo por adaptación y selección (teoría evolutiva). Ambos principios convergían en su idea de forma: para Sullivan la forma orgánica “crecía” de manera natural dentro de la sociedad en que se producía, y se “adaptaba” al cambio de las condiciones sociales a lo largo del tiempo. En los escritos de Le Corbusier se evidencian claramente las ideas de la teoría evolutiva, que aplicó tanto a las formas de la naturaleza como a las artificiales, la máquina y los silos industriales. Le Corbusier admiraba la máquina por ser un sistema coherente y ordenando geoméricamente. Las obras de ingeniería tenían para Le Corbusier el mismo valor que las formas de la naturaleza para los organicistas: al igual que las formas orgánicas, también los aviones, los buques o los automóviles eran el producto de una selección que había conducido a la forma que mejor se adapta a su función. Así lo manifiesta en su texto *Vers un architecture* (1923), traducido como *Hacia una arquitectura* (1958): “Las creaciones de la técnica maquinista son organismos que tienden a la pureza y sufren las mismas reglas evolutivas que los objetos naturales que suscitan nuestra admiración. [...] El avión es un producto de alta selección” (Le Corbusier, 1958, pág. 80). Según Le Corbusier, el modelo evolutivo de la biología podía aplicarse para explicar la evolución de los productos tecnológicos (Figura 5). En un texto publicado anteriormente, *Après le cubisme* (1918), escrito en colaboración con el pintor Amédée Ozenfant, Le Corbusier, parafraseando a Darwin, anunció el descubrimiento de la ley de “*sélection mécanique*” (Ozenfant & Jeanneret, 1918). Según esta ley los objetos tienden hacia un “objeto-tipo” con el fin de alcanzar el ideal de máxima utilidad y economía basada en la producción industrial en serie. Así, al igual que en el proceso de selección natural se prescindía de aquellos órganos u organismos que no se adaptan a las exigencias de su entorno, en la selección artificial son eliminadas aquellas propiedades ajenas al tipo que limitan la reproducción mecánica y en serie. Para llegar a ser producido en serie, un objeto debe ser sometido previamente a un proceso de selección (prueba-error), y su forma, por tanto, debe simplificarse hasta derivar en una forma “pura” que alcanza la belleza propia de lo funcional (utilitario). Seleccionar, para Le Corbusier, significaba descartar, suprimir, hacer surgir lo esencial.

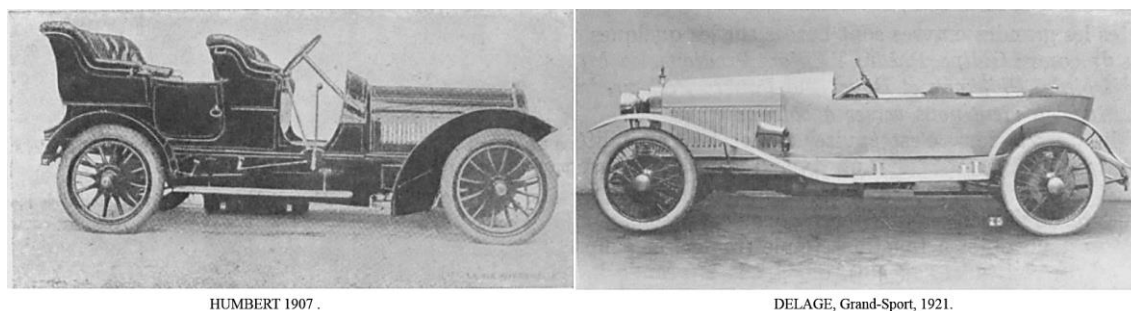


Figura 5. Evolución desde un coche, cuya estética recordaba a la de los antiguos coches de caballos, hacia un coche moderno, pensado en función de la velocidad. Fuente: (Le Corbusier, 1958).

El modelo evolutivo de la máquina también podía explicar la evolución de las obras de arquitectura. En *Vers un architecture* (1923), Le Corbusier comparó los barcos, aeroplanos y automóviles con el templo griego, no tanto para demostrar que los objetos

funcionales también son bellos, sino más bien para evidenciar que la arquitectura había evolucionado según el patrón evolutivo de la máquina. Sin embargo, Le Corbusier reconocía que la arquitectura de su tiempo, a diferencia de los productos de la ingeniería, estaba estancada: *“Una gran época acaba de comenzar. Existe un espíritu nuevo. Existe una multitud de obras de espíritu nuevo que se encuentran, especialmente, en la producción industrial. La arquitectura se ahoga con las costumbres. [...] El maquinismo, hecho nuevo en la historia humana, ha suscitado un espíritu nuevo. Una época crea su arquitectura que es la imagen clara de un sistema de pensamiento”* (Le Corbusier, 1958, pág. 69). Para Le Corbusier el maquinismo representaba el espíritu de la época moderna, por tanto, también la casa debía pensarse como una máquina, tal como transmitía su eslogan: *“Una casa es una máquina para habitar”* (Le Corbusier, 1958, pág. 73). Así como un avión era una máquina para volar, la casa debía entenderse como una máquina cuya función era la de habitar. Pero no había una “casa-tipo” para el modo de habitar moderno. El problema de la casa moderna aún no se había planteado. En este sentido, afirmaba: *“La lección del avión no está tanto en las formas creadas y, ante todo, hay que aprender a no ver en un avión un pájaro o una libélula, sino una máquina de volar; la lección del avión está en la lógica que ha presidido el enunciado del problema y ha conducido al triunfo de su realización. Cuando en nuestra época se plantea un problema, se encuentra fatalmente la solución. El problema de la casa no se ha planteado”* (Le Corbusier, 1958, págs. 80-85). La lección que se tenía que aprender de los aviones estaba en la lógica que había llevado a su desarrollo, es decir el planteamiento del problema y la búsqueda de una solución. El problema de la casa moderna residía en el compromiso con los principios de economía, cantidad y rapidez, lo que podía encontrar solución en la casa en serie (Figura 6)³³: *“El problema de la casa es un problema de la época. [...] Hay que crear el estado de espíritu de la serie. El estado de espíritu de construir casas en serie. El estado de espíritu de habitar casas en serie. El estado de espíritu de concebir casas en serie”* (Le Corbusier, 1958, pág. 187). Habitar la casa en serie significaba vivir en condiciones de higiene y salubridad (luz y aire puro). La casa en serie era accesible a todos y permitía una vida saludable: era por tanto bella. La belleza de la casa concebida como una máquina era producto de la geometría, de la sencillez, del orden y de la pureza formal.

³³ En 1914, Le Corbusier diseñó el sistema Dom-ino compuesto por un esqueleto de columnas y losas prefabricadas y un cerramiento realizado con componentes industrializados. El esqueleto estructural era independiente de la planta, o las plantas, y de la fachada del edificio.

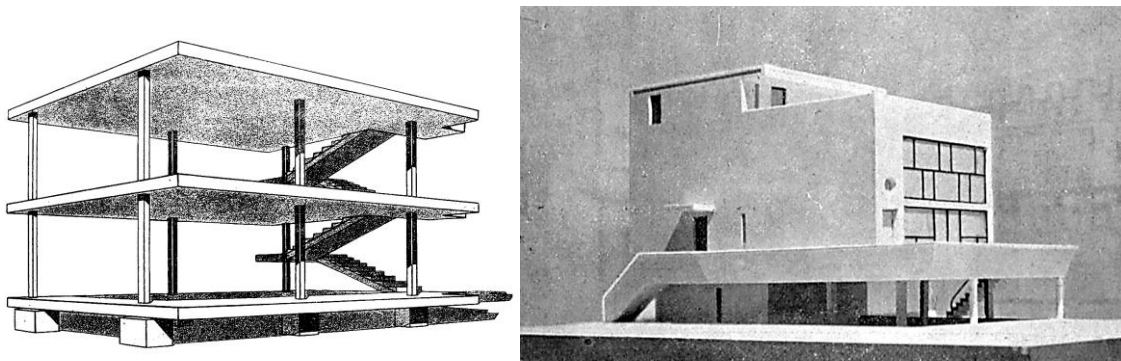


Figura 6. Sistema Dom-Ino (1914), y aplicación del sistema Dom-Ino en la casa en serie Citrohan (1922), Le Corbusier. Fuente: (Le Corbusier, 1958).

En su texto *Changing Ideals in Modern Architecture 1750–1950* (1965), Peter Collins advertía que la aplicación de la analogía mecánica a la arquitectura, tal como hizo Le Corbusier, conlleva el riesgo de tratar a los edificios como objetos aislados, dispuestos arbitrariamente en un paisaje o una ciudad, en lugar de ser considerados como parte del entorno físico en el que están emplazados. De hecho los barcos, aeroplanos y automóviles no se diseñan para lugares precisos ni con una relación espacial específica entre ellos. Collins sostenía que el resultado de la aplicación de la analogía biológica era la valoración del entorno en la arquitectura. Si bien la crítica de Collins resulta acertada, la negación del entorno por parte de la arquitectura moderna no puede atribuirse exclusivamente al uso de la analogía mecánica. El propio planteamiento de Le Corbusier estuvo estrechamente vinculado a la teoría de la evolución biológica (teoría mecanicista de Darwin), en tanto que consideró el entorno como las técnicas y materiales disponibles en una época determinada. También Sullivan recurrió a la analogía biológica (teoría teleológica de Lamarck), pero no concibió el entorno del edificio como el espacio físico a su alrededor, sino como las condiciones de la sociedad de la época. Así, el problema planteado por Collins no reside tanto en el uso de la analogía mecánica como en la definición del entorno en la arquitectura que, como se observará en la segunda parte de este capítulo, está presente en la crítica a las teorías funcionalistas modernas planteada por Christopher Alexander, Aldo Rossi, Robert Venturi y Peter Eisenman.

2.1.1.3 La forma como organismo: la forma es la función

Las teorías evolutivas sirvieron para justificar la necesidad de nuevos tipos arquitectónicos, como el edificio en altura o la casa en serie. Sin embargo, la noción de “organismo viviente” como sistema organizado funcionalmente en relación con su entorno y también, literalmente, como sistema dinámico, sirvió también para explicar la evolución de otros tipos de edificios tradicionales, como la villa o casa suburbana.³⁴ La villa-tipo estaba fundamentada en el modelo de Palladio, a saber, una planta central y simétrica, en la que el vestíbulo se disponía sobre el eje central y a ambos lados, de manera

³⁴ En su tesis *The Concept of Type in Architecture* (1995), Madrazo pone en duda el abandono del concepto de tipo por parte del movimiento moderno : “[...] *the alleged break of modern architecture with the idea of Type is questioned, while it is proposed that the transformation of architectural form from the Renaissance to the Modern Movement is characterized by the abandonment of the Palladian model and its subsequent replacement by the notion of formal language*” (Madrazo, 1995, pág. 14).

simétrica, se organizaban habitaciones de diversas dimensiones (Figura 7).³⁵ Frank Lloyd Wright y Le Corbusier rompieron con esta forma-tipo para cumplir las necesidades del habitar moderno. Mientras que en el modelo palladiano predominaba la geometría y el volumen, en las casas de Wright y Le Corbusier predominó el espacio.

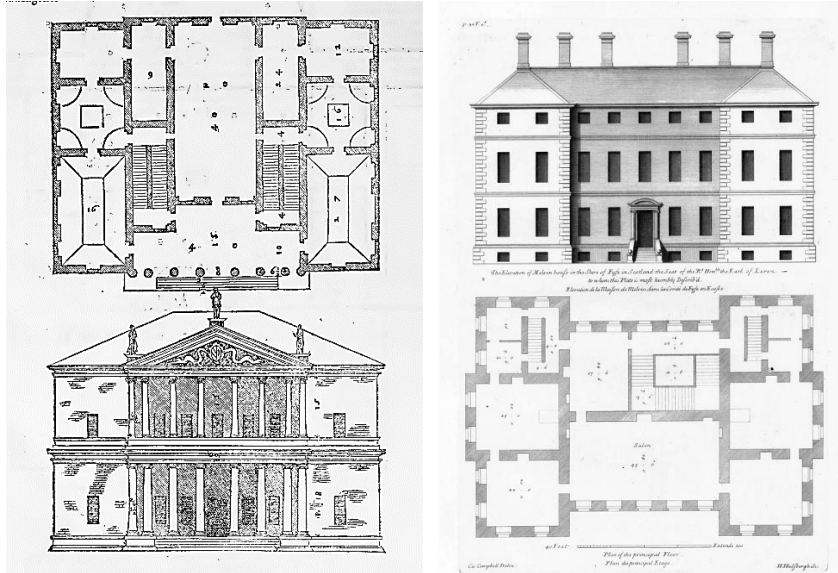


Figura 7. Villa Sarego (1565), Palladio. Fuente: (Palladio, 1581). Melvin House. Fuente: (Campbell, 1715).

Frank Lloyd Wright desarrolló las ideas sobre la arquitectura orgánica de Sullivan, asumiendo la noción de forma como organismo viviente. Al comienzo de su texto *Modern Architecture: Being the Kahn Lectures for 1930* (1931), Wright explicaba su idea de arquitectura orgánica mediante una serie de aforismos: “*Form is organic only when it is natural to materials and natural to function. An organic form grows its structure out of conditions as a plant grows out of soil...both unfold similarly from within. [...] An inner-life-principles is a gift to every seed. An inner-life-principle is also necessary for every idea of good building. [...] Form is made by function but qualified by use. Therefore form changes with changing conditions*” (Wright, 1931). Al igual que su mentor, Wright sostenía que la forma orgánica se desarrolla desde dentro, pero a partir de las condiciones de su entorno. Para Wright la forma orgánica era el producto de la sociedad; al cambiar las condiciones sociales, también cambiaba la forma. La arquitectura orgánica, por tanto, era una “arquitectura viva”, es decir una arquitectura que cambiaba para adaptarse a las condiciones de su época. Es más, la relación entre la forma y la función se consideraba necesaria para la “vida”. Así Wright afirmaba que: “*The word [organic] applies to ‘living’ structure – a structure or concept wherein features or parts are so organized in form and substance as to be, applied to purpose, integral. Everything [that] ‘lives’ is therefore*

³⁵ En el Reino Unido, el uso del modelo de la villa de Palladio, también conocido como “palladianismo”, se volvió popular a mediados del siglo XVII gracias a Christopher Wren. A comienzos del siglo XVIII, sus obras se difundieron en la mayoría de los países del norte de Europa y más tarde en Norteamérica, siendo Thomas Jefferson su mejor representante. La transmisión del modelo de Palladio a los países anglosajones se debe no solo a la traducción inglesa del tratado de Palladio (*I quattro libri dell’architettura*, 1570), sino también a la publicación de libros como *Vitruvius Britannicus* (1715) de Colen Campbell, que contenía grabados de los edificios británicos más importantes inspirados por Palladio, *Practical Architecture* (1720) de William Halfpenny y *A Book of Achitecture* (1728) de James Gibbs.

organic. The inorganic –the ‘unorganized’– cannot live” (Wright, 1931, pág. 27). El énfasis en el vitalismo de la arquitectura se hacía aún más evidente en sus obras, ya que sus edificios se organizaban, crecían y se desplegaban físicamente desde el interior como si estuvieran sujetos a una fuerza interna, hasta el punto de romper el volumen.

Esta “destrucción de la caja”³⁶ significaba el abandono de la construcción tradicional, basada en habitaciones cerradas sobre un plano central y simétrico envuelto en un volumen compacto (modelo palladiano). El cambio comenzó con la Winslow House (1893), en la que Wright organizó de manera asimétrica las distintas habitaciones a partir de un núcleo central. Más tarde, en la Isabel Roberts House (1908), se rompían los límites del volumen de manera que el espacio predominase sobre la forma (Figura 8). En la Robie House (1908), Wright usó una planta alargada más que cruciforme, sin abandonar la idea de un núcleo central a partir del que se organizaban los espacios (Figura 9). En definitiva, para Wright el edificio no era una masa en el espacio, sino la realización plástica del espacio. Este mismo planteamiento se adoptó en las Prairie Houses (1887-1910) llegando a su extremo en la Kaufmann House (Fallingwater) (1936), en la que el volumen resultó completamente desintegrado, no había un esquema geométrico reconocible en la planta, ni simetría, ni puntos de vista privilegiados (Figura 10).

³⁶ El texto más conciso de Wright sobre la destrucción de la caja se encuentra *An Autobiography* (1943). En el capítulo “Building the New House”, Wright escribía: “*The interiors consisted of boxes besides boxes or inside boxes, called ‘rooms’*. All boxes were inside a complicated outside boxing. Each domestic function was properly box to box” (Wright, 1943, pág. 142). A diferencia de la organización de la planta tradicional con habitaciones cerradas, Wright defendía la continuidad espacial: “*I could see little sense in this inhibition, this cellular sequestration that implied ancestors familiar with penal institutions, except for the privacy of bedrooms on the upper floor. They were perhaps all right as sleeping boxes. So I declared the whole lower floor as one room, cutting off the kitchen as a laboratory, putting the servants’ sleeping and living quarters next to the kitchen but semi-detached, on the ground floor. Then I screened various portions of the big room for certain domestic purposes like dining, Reading, receiving callers”* (Wright, 1943, pág. 142).

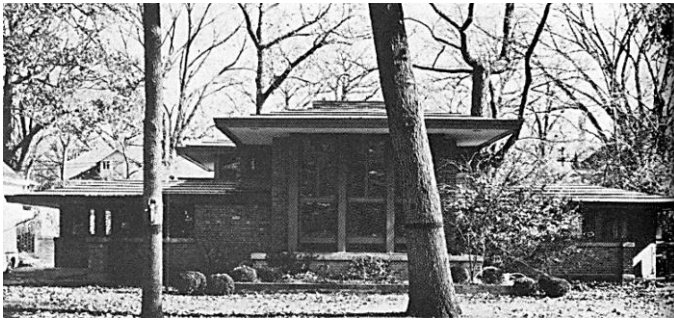


Figura 8. Isabel Roberts House (1908), Frank Lloyd Wright. Fuente: (Zevi, 1979).

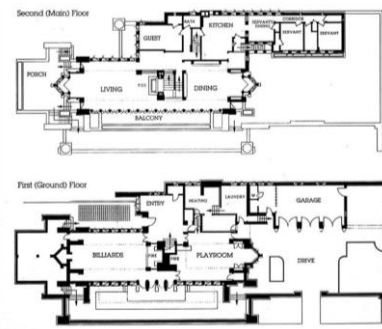


Figura 9. F.C. Robie House (1908), Chicago, Frank Lloyd Wright. Fuente: (Zevi, 1979).

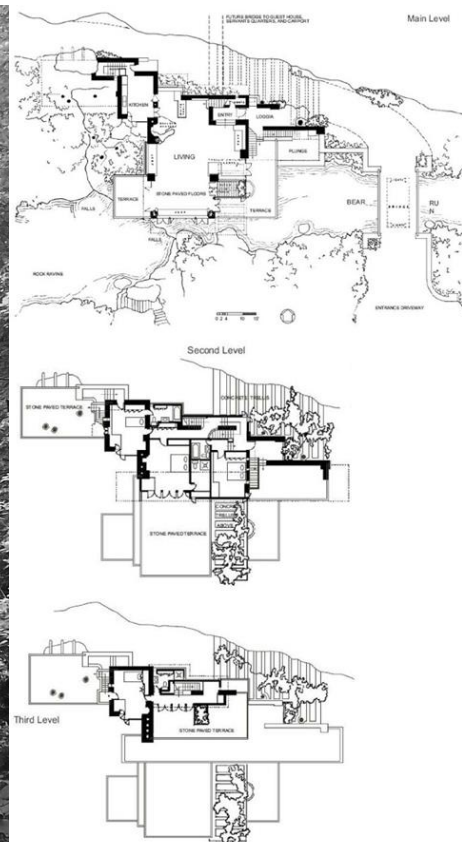


Figura 10. Fallingwater (1936), Frank Lloyd Wright. Fuente: fotografía de Carol M. Highsmith (2007). Library of Congress Washington, D.C. Plantas. Fuente: (Zevi, 1979).

Con sus obras, Wright superó el planteamiento de su mentor. Mientras que Sullivan estaba interesado en la correspondencia del tratamiento superficial del edificio respecto a los espacios interiores, Wright hacía corresponder directamente la planta con el volumen (espacio plástico). Como demostración de este avance teórico, Wright reformuló el famoso eslogan de Sullivan durante una conferencia titulada “An Organic Architecture: The Architecture of Democracy”, que se celebró en 1939 en el RIBA (Royal Institute of British Architects). Wright afirmó: “*So here I stand before you preaching organic architecture: declaring organic architecture to be the modern ideal and the teaching so much needed if we are to see the whole of life, and to now serve the whole of life, holding no ‘traditions’ essential to the great TRADITION. Nor cherishing any preconceived form fixing upon us either past, present or future, but—instead—exalting the simple laws of common sense—or of super-sense if you prefer—determining form by way of the nature of materials, the nature of purpose so well understood that a bank will not look like a Greek temple, a university will not look like a cathedral, nor a fire-engine house resemble a French château, or what have you? Form follows Function? Yes, but more important now Form and Function are One*” (Wright, 1939, pág. 4). Esta síntesis de forma y función ejemplifica el concepto de lo orgánico, tal como lo entendía Wright: la forma orgánica no era la expresión de la función; la forma orgánica coincidía con la propia función.³⁷ A lo largo del siglo XX, sin embargo, el significado de arquitectura orgánica evolucionó pasando a ser una metáfora inequívoca de las formas orgánicas de la naturaleza. La arquitectura orgánica devino una cuestión formal, más que espacial. Las formas curvilíneas y sinuosas, primero de Häring y Scharoun y luego de Aalto, Niemeyer y también en el último periodo creativo del propio Wright, identificado con la realización del Museo Guggenheim en Nueva York, contribuyeron a crear una arquitectura orgánica que se opone a la forma racional y geométrica, a la línea recta y el ángulo.

Aunque desde planteamientos distintos, la noción de organismo viviente también fue esencial en el planteamiento de Le Corbusier. En *Vers un architecture* (1923), Le Corbusier afirmaba: “*El plan procede de dentro a afuera; el exterior es el resultado del interior. [...] el plano procede de adentro hacia afuera, porque la casa o el palacio son un organismo semejante a todo ser viviente*” (Le Corbusier, 1958, págs. 143-146). Al igual que Wright, Le Corbusier pensaba que la forma se generaba de dentro hacia afuera, es decir, que la forma no era el resultado de reglas apriorísticas y que el exterior era la expresión del interior, siendo el edificio un organismo viviente. Sin embargo, a diferencia del postulado organicista que se centraba en el crecimiento de la forma (vitalismo), Le Corbusier adoptó un punto de vista mecanicista al considerar que un edificio se compone de diversos sistemas funcionales que, interactuando entre ellos, dan lugar a la forma. Así, siguiendo con la analogía biológica, Le Corbusier entendía la planta como el medio para organizar los órganos dentro del organismo.³⁸ En el prólogo de *Précisions sur un État*

³⁷ En su libro *The Future of Architecture* (1953), Wright manifestaba: “*Not until we raise the dictum, now a dogma, to the realm of thought, and say: Form and function are one, have we stated the case for architecture. That abstract saying Form and function are one is the center line of architecture, organic. It places us in line with nature and enables us sensibly to go to work*” (Wright, 1953, pág. 296).

³⁸ En *My Work* (1960), Le Corbusier afirmaba: “*A plan arranges ‘organs’ in order, thus creating an ‘organism’ or organisms. The organs possess distinctive qualities, specific differences. What are they? Lungs, heart, stomach? The same question arises in architecture*” (Le Corbusier, 1960, pág. 155).

Present de l'Architecture et de l'Urbanisme (1930), Le Corbusier comparó la construcción tradicional de muros de carga con el caparazón óseo externo de la tortuga o la langosta; por el contrario, la arquitectura moderna era un organismo formado por un esqueleto de pilares de hormigón o hierro y un revestimiento. Este planteamiento recordaba el principio de correlación de las partes introducido en la biología por Cuvier (relación necesaria de una parte con la otra), sobre el cual Viollet-le-Duc y Semper fundamentaron sus teorías de la forma. Le Corbusier, sin embargo, no pensaba que el edificio fuese solo piel y estructura, también órganos y conexiones entre órganos: “*Un poco de biología previa: este armazón para aguantar, unos rellenos musculares para actuar, estas vísceras para alimentar y hacer funcionar*” (Le Corbusier, 1979, pág. 145). En el paralelismo organismo-edificio, Le Corbusier veía en el armazón o esqueleto la estructura portante del edificio; los músculos u órganos eran las habitaciones o espacios de la vivienda; y las vísceras, que son la parte invisible del organismo, eran las instalaciones. La separación entre sistemas funcionales condujo a la idea de “planta libre”, es decir, de la organización espacial independiente de la estructura portante. Otra consecuencia de la estructura portante independiente era la “fachada libre”; la estructura se podía retrasar respecto de la fachada, liberando a ésta de su función portante y facilitando así su libre composición.

A partir de la analogía entre arquitectura y organismo viviente, Le Corbusier comparaba la fisiología de la respiración con la ventilación de los edificios y el sistema nervioso con la red eléctrica. Pero la analogía más importante era la circulación sanguínea que se asimilaba al movimiento de las personas dentro y fuera de la vivienda.³⁹ La “circulación” caracterizaba la arquitectura como un organismo vivo. En el “El plano de la casa moderna”, afirmaba: “*CIRCULACIÓN. Es una gran palabra moderna. Todo es circulación en arquitectura y en el urbanismo. ¿Para qué sirve una casa? Se entra. Se realizan funciones metódicas. [...] Se puede alinear en un circuito los elementos funcionales de la casa*” (Le Corbusier, 1979, pág. 145). Así, además del espacio y la estructura, la circulación constituía otro sistema indispensable del edificio considerado como organismo. En su libro *Entretien avec les étudiants des écoles d'architecture* (1943), Le Corbusier sostiene: “*La arquitectura es circulación interior. [...] La calidad de la circulación interior será la virtud biológica de la obra, organización del cuerpo construido ligado en verdad a la razón de ser del edificio. La buena arquitectura ‘se camina’ y se ‘recorre’ tanto adentro como afuera. Es la arquitectura viva. La mala arquitectura está coagulada alrededor de un punto fijo*” (Le Corbusier, 2008, pág. 33).⁴⁰ En definitiva, la arquitectura viva para Le Corbusier era la arquitectura organizada en

³⁹ En el apartado “IV. Sistema cardíaco” del Plan de Buenos Aires, Le Corbusier emplea estos términos de marcado carácter biológico para describir la ciudad: “*Grandes arterias de dirección, arterias de distribución y arteriolas de repartición*” (Le Corbusier, 1947, pág. 30).

⁴⁰ “*La arquitectura ‘se camina, se recorre’ y no es de manera alguna, como ciertas enseñanzas, esa ilusión totalmente gráfica organizada alrededor de un punto central abstracto que pretende ser hombre, un hombre quimérico munido de un ojo de mosca cuya visión sería simultáneamente circular. Este hombre no existe, y es por esta confusión que el periodo clásico estimuló el naufragio de la arquitectura. [...] Munido de sus dos ojos y mirando hacia adelante, nuestro hombre camina, se desplaza, se ocupa de sus quehaceres, registrando así el desarrollo de los hechos arquitectónicos aparecidos uno a continuación del otro. [...] las arquitecturas se clasifican en muertas y vivas, según si la regla de ‘recorrido’ haya sido observada*” (Le Corbusier, 2008, pág. 32)

base a la circulación; aquella que estaba pensada para el movimiento. La Villa Savoye (1928-30) ejemplifica la idea del edificio como organismo vivo, como sistema formado de diferentes sistemas. Le Corbusier organizó la planta a partir de una malla estructural, un cuadrado ritmado regularmente por columnas, y encerró el espacio en una forma pura (Figura 11). A pesar de este esquema rígido que recordaba el modelo de Palladio, Le Corbusier dispuso los diversos elementos funcionales/formales autónomos (escaleras, habitaciones y espacios abiertos) en base a la lógica de la circulación, más que a un orden geométrico (simetría).⁴¹ En el centro situó una rampa, en lugar de un espacio vacío, para dirigir la circulación por diferentes zonas de la casa, desde el ingreso hasta los diversos espacios funcionales, sin interrupciones, de modo continuo. Así, el espacio estático y centralizado del Palladio fue sustituido por un espacio dinámico, caracterizado por las cualidades de espiral de la asimetría y la rotación. En definitiva, la casa fue el producto de la interacción de distintos sistemas de funciones (espacio, estructura, envolvente y circulación).

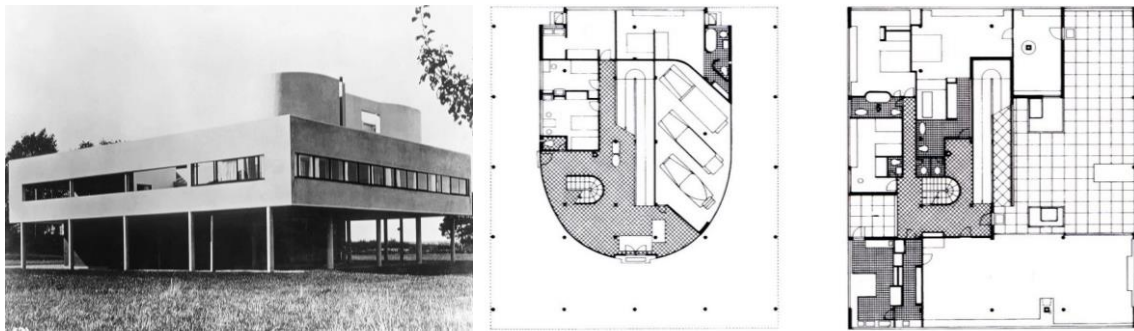


Figura 11. Ville Savoye (1929), Le Corbusier. Fuente: (Benton, 2008).

En conclusión, Wright y Le Corbusier fueron los iniciadores de las dos grandes corrientes espaciales del movimiento moderno, la corriente organicista y racionalista (Zevi, 1948). El espacio orgánico de Wright era rico en movimiento y perspectivas, y de este modo se expandía con la idea de expresar la acción de la vida. Por otro lado, la planta libre de Le Corbusier era más geométrica, estaba pensada para el movimiento de las personas y surgía de una dialéctica de componentes internas. Más allá de estas dos interpretaciones diferentes del espacio, el hecho mismo de centrarse en el espacio supuso el abandono de todo interés por la forma predefinida y el estilo. Sin embargo, tanto la obra de Wright como de Le Corbusier sugieren que la arquitectura moderna no abandonó

⁴¹ En su artículo “The Mathematics of the Ideal Villa” (1947), el crítico británico Colin Rowe comparó la obra de Palladio con la de Le Corbusier, comparando la retícula geométrica de la Villa Malcontenta (1560) y la Villa Stein (1928) para revelar sus coincidencias en las proporciones y ritmos de los elementos estructurales, y para poner de manifiesto el contraste entre el orden centralizado de la primera y el carácter centrífugo de la segunda. Rowe también identificó relaciones entre la Villa Rotonda (1570) y la Ville Savoye (1931). Sin embargo Kenneth Frampton no estaba de acuerdo con estas comparaciones. En su *Modern Architecture: A Critical History* (1980), se refirió a los análisis formales de Rowe: “The almost square plan of the Villa Savoye, with its elliptical ground floor and centralized ramp, may be read as a complex metaphor for the centralized and biaxial plan of the Rotonda. There, however, all similarity ends, Palladio insisting on centrality and Le Corbusier asserting, within his self-imposed square, the spiralling qualities of asymmetry, rotation and peripheral dispersal” (Frampton, 1980, pág. 158).

por completo los tipos anteriores; en realidad ambos arquitectos modificaron tipos existentes y definieron nuevos tipos. Asimismo, no es del todo cierto que sus obras no tuviesen un trasfondo estético: el rechazo absoluto del estilo por parte de estos arquitectos modernos llevó a un nuevo estilo que varios historiadores han llamado el “estilo funcional”.

2.1.1.4 La función como estilo: el funcionalismo

En su obra *Origin of Functionalist Theory* (1957), Edward Robert De Zurko sostenía que pensar la forma en términos de la función no es producto de un solo movimiento cultural o una filosofía, sino más bien un punto de vista que ha venido cambiando de acuerdo con las diversas formas de ver el mundo. Las ideas funcionalistas ya estaban presentes en la arquitectura de la Antigua Grecia, así como en la arquitectura del Medioevo y el Renacimiento, hasta llegar a la Edad Contemporánea. Según De Zurko, además de la visión pragmática de la función que se refiere al cumplimiento de unos determinados requisitos, existe una función simbólica y social en la arquitectura.⁴² Por tanto las teorías funcionalistas o, dicho de otro modo, aquellas para las que la adaptación de la forma a la función constituye un principio básico de la arquitectura, no son un producto de la época moderna. Sin embargo, el concepto de funcionalismo influyó tanto en el pensamiento moderno que llegó a considerarse una tendencia o característica propia de la arquitectura. Algunos autores e historiadores han asociado el término funcionalismo con la vertiente funcionalista de la arquitectura moderna, y hasta han llamado “estilo funcional” al estilo moderno.⁴³ Una primera referencia al término “arquitectura funcional” se encuentra en el libro de Alberto Sartoris, *Gli elementi dell'Architettura Funzionale* (1932), quien empleó este término en lugar de “arquitectura racional”, por sugerencia de Le Corbusier.⁴⁴

⁴² De Zurko afirmaba: “*The idea of function is not a simple one. Function may be objective or subjective. There are various interrelated types of function, such as the practical or material needs of the occupant of a building; the functional expression of structure; the psychological needs of the occupants; the social function of architecture; and the symbolic-monumental function of architecture*” (De Zurko, 1957, pág. 5).

⁴³ En su texto *A History of Architecture* (1918), Kimball y Edgell definían el funcionalismo como un movimiento o tendencia estilística de la arquitectura moderna. Allí afirmaban: “*Fundamentally different in direction from the eclectic movement, which forms part of the historical tendency of modern times, there has developed in architecture another movement, which is part of the tendency toward natural science. It is at one with the biological concept of the adaptation of form to function and environment. Adaptation in both these respects conforms to the philosophical concept of function, the dependence of a variable trait on the other variable. The conscious endeavours in modern architecture to make the forms of individual members correspond to their structural duties, to make the aspect of building characteristic of their use and purpose, to make the style of the time expressive of the distinguishing elements in contemporary and national culture, may thus be inclusively designated by the name functionalism*” (Kimball & Edgell, 1918, pág. 499). Bajo el término funcionalismo se agrupaban las obras de Théodore Labrouste, Auguste y Gustave Perret, Joseph Paxton, Otto Wagner, Alfred Messel, Joseph Olbrich y Peter Behrens. En su texto *Outlines of the History of Architecture, Part IV* (1939), Rexford Newcomb aplicó el término “funcionalismo” a una gran parte de la producción de la arquitectura moderna, sin incluir a todo el movimiento moderno.

⁴⁴ Información aportada por Juan Calduch (Calduch, 2001, pág. 9). La intención inicial de Sartoris era titular su texto *Caratteri dell'Architettura Razionale*, pero fue persuadido a cambiar este título por una carta de Le Corbusier, que luego usó como prefacio de la publicación definitiva, *Gli elementi dell'architettura funzionale. Sintesi panoramica dell'architettura moderna* (1932). Le Corbusier afirmaba: “*È un peccato dover mettere 'razionale' da un lato della barricata per poter lasciare a colpo sicuro 'l'accademico' dall'altra parte. Si dice anche 'funzionale'. Per me, il termine 'architettura' ha qualche cosa di più magico che non il razionale o il funzionale, qualcosa che domina, che predomina, che impone*” (Sartoris, 1932). Además, en su texto *Changing Ideals in Modern Architecture 1750–1950* (1965), Collins explica: “[...] *Le Corbusier's name is frequently identified with 'Functionalism,' and J.E. Barton, in Purpose and*

Nicolas Pevsner, en su texto *Pioneers of Modern Design: From William Morris to Walter Gropius* (1936), y Sigfried Giedion en *Space, Time and Architecture* (1941) quisieron demostrar que las líneas rectas y el nuevo sentido del espacio moderno de Le Corbusier y Wright representaban el inicio de un nuevo estilo. Sin embargo, los arquitectos modernos no se proponían buscar un nuevo estilo, sino más bien liberarse del concepto de estilo. A principios del siglo XX, el estilo provocaba desconfianza, y el ornamento, indiferencia o repudio. Sullivan consideraba necesario el ornamento siempre y cuando se justificara su existencia por medio de alguna función. Loos fue más allá y basó su teoría de la forma en el rechazo del ornamento: las formas ornamentales eran consideradas inútiles y debían evitarse.⁴⁵ Para Loos, el ornamento era sinónimo de estilo en cuanto portador de valores simbólicos. Así, la ausencia de ornamento creó la ilusión de que la arquitectura podía ser desvinculada del propósito simbólico propio de las artes, es decir el estilo. Respecto de esto, Theodor Adorno escribió el ensayo “German Werkbund” (1965), traducido como “Functionalism Today” (1979), donde afirmaba: “*Hence our bitter suspicion is formulated: the absolute rejection of style becomes style*” (Adorno, 1979, pág. 36). Esta sospecha era aplicable especialmente a Loos, quien separaba las artes sin propósito de la arquitectura que, efectivamente, tenía un propósito. El simbolismo, para Loos, no formaba parte de la arquitectura. Sin embargo, como concluyó Adorno, el rechazo del estilo y el ornamento también tenía un propósito simbólico y acababa derivando en un estilo. De hecho, el carácter anti-ornamental caracterizó la arquitectura del movimiento moderno, y derivó en un rasgo esencial del estilo funcional.

Tampoco Le Corbusier y Wright aspiraron a crear un nuevo estilo. Le Corbusier se esforzó en lanzar proclamas y manifiestos contra el propio concepto de estilo. En el prefacio de *Vers un architecture* (1923), afirmaba: “*La arquitectura se ahoga con las costumbres. Los ‘estilos’ son una mentira*” (Le Corbusier, 1958, pág. 30). La arquitectura moderna no buscaba un nuevo estilo, sino una nueva manera de ser concebida. La idea de que la forma era consecuencia de la función fue adoptada como un principio generativo que podía liberar del uso de los estilos del pasado, del tipo o de formas preconcebidas.

Admiration (1932), asserted that the vogue for the word ‘Functionalism’ was largely inspired by Le Corbusier’s writings and work. The reason for this confusion is probably to be found, not in the actual text of Le Corbusier’s book, but in the preface provided by Frederick Etchells for his translation of the English edition. In modern mechanical engineering, Etchells wrote, forms were developed mainly in accordance with function; yet although the designer or inventor probably did not concern himself directly with what the final appearance would be, he had a natural subconscious instinct for order, and thus it was ‘difficult for him to avoid plastically good results.’ Hence for Etchells, the originality of Le Corbusier’s book is that it makes the reader see the Parthenon or St. Peter’s, Rome, as a man might look at an automobile, whereby ‘these buildings, studied in their functional and plastic aspects, emerge in a new guise’” (Collins, 1965, págs. 165-166).

⁴⁵ En su ensayo “Ornament and Crime”, Loos sostuvo que cada época tiene un estilo, cuya identidad está encarnada por el ornamento. La época moderna, sin embargo, no ha sido capaz de producir un nuevo ornamento, es decir un nuevo estilo, porque no lo necesita; la época moderna se ha liberado de los estilos: “*Style used to mean ornament. So I said: don’t lament! Don’t you see? Precisely this makes our age great, that it is incapable of producing new ornament. We have conquered ornament; we have struggled to the stage of non-ornamentation. Watch, the time is near. Fulfilment awaits us. Soon the streets of the cities will shine like white walls. Like Zion, the sacred city, heaven’s capital. Then salvation will be ours*” (Loos, 1970, pág. 20). El ensayo de Loos fue publicado originalmente en 1913 en francés –“Ornement et crime”– por la revista *Les cahiers d’aujourd’hui*; luego siguieron las publicaciones en *L’Esprit nouveau* (1920) y *L’Architecture vivante* (1926). La versión alemana – “Ornament und Verbrechen” – fue publicada en la revista *Frankfurter Zeitung* en 1929. La versión en inglés se publicó en 1966.

De hecho, la Ville Savoye de Le Corbusier o la Kaufmann House de Wright parecían tener poco en común con los edificios del pasado. La tan esperada nueva arquitectura por fin había surgido. Esta nueva arquitectura se caracterizó por la falta de ornamento, pero no se puede soslayar que persistió en ella una voluntad estética que se hizo patente al escoger ciertos elementos, materiales o formas, y descartar otros. A saber, los edificios modernos se caracterizaron por la aplicación de principios estéticos distintos del uso de elementos explícitamente decorativos (la decoración rococó o las líneas serpentinadas del *art nouveau*), pero que igualmente tenían una función ornamental. Esta función ornamental o decorativa salta a la vista en los materiales, las ventanas corridas, los techos planos y las superficies blancas de Le Corbusier, al igual que en las superficies planas con las que Wright rompió el volumen macizo de sus viviendas para obtener largas y extendidas líneas horizontales. Los materiales, elementos y formas de la arquitectura moderna, acabaron siendo una nueva expresión artística, un nuevo ornamento, solo que anti-ornamental. Por tanto, el funcionalismo en la arquitectura no podía llegar ni llegó a ser un funcionalismo excluyente, desvinculado de lo estético y simbólico.⁴⁶ Especialmente las obras de Le Corbusier forman parte de un discurso estético (la estética de la máquina) que impide considerarlas como meramente funcionalistas.

Por otra parte, bajo el funcionalismo subyacían los ecos del debate clásico entre tipo y modelo de Quatremère de Quincy. Mientras que la perspectiva neoclásica reivindicaba la existencia de una forma apriorística a la cual se dotaba de una función, para los funcionalistas era la propia función la que se convertía en un modelo para la forma, ocupando el lugar que antes tuvo el tipo. En otras palabras, el planteamiento de los arquitectos modernos no supuso un cambio respecto de la noción tradicional de tipo. La vertiente funcionalista, de hecho, estableció un repertorio completo de formas o tipos (tipo para la vivienda, tipo para la casa en serie, etc.) que definían una relación fija entre la forma y la función, o el uso de recursos formales específicos que dificultaba la realización de edificios funcionales. Por ello, algunos arquitectos de la década de 1960, como Christopher Alexander, criticaron que la vertiente funcionalista no se preocupase en realidad de que el edificio respondiera a una demanda funcional, sino más bien de su imagen y estética. Otros arquitectos, como Aldo Rossi, Carlo Aymonino y Giorgio Grassi, retomaron las formas tradicionales para superar el *funzionalismo ingenuo* del movimiento moderno.

En consecuencia, a partir de 1950 se llevó a cabo una revisión del funcionalismo moderno que no rechazaba la idea de que la arquitectura estuviese vinculada a la función, sino el concepto de función adoptado por la arquitectura moderna. Sobre todo, se refutó la idea de que la forma fuese expresión de una función predeterminada y se reivindicó la

⁴⁶ El valor estético otorgado al edificio fue uno de los puntos más criticados del funcionalismo moderno. Henry-Russell Hitchcock y Philip Johnson en su texto *The International Style* (1932), que acompañaba la homónima exposición en el MOMA de Nueva York, quisieron presentar la arquitectura moderna como un fenómeno puramente estilístico: “*It is not necessary to accept the contentions of the functionalists that there is no new style or even to consider their own work still another kind of architecture. While the older generations have continued faithful to individualism, a set of general aesthetic principles has come into use. While the functionalists continue to deny that the aesthetic element in architecture is important, more and more buildings are produced in which these principles are wisely and effectively followed without sacrifice of functional virtues*” (Hitchcock & Johnson, 1932, págs. 53-54).

función social de la arquitectura: el funcionalismo fue revisitado en clave humanística, según la cual la función o propósito de la arquitectura estarían vinculados al ser humano, a la percepción y al uso del espacio. Esto llevó a abandonar el credo según el cual la forma sigue a la función, y se asumió que la forma y la función son aspectos interdependientes que mantienen una relación dialéctica. Esta visión circular era propia de la cibernética, cuya influencia permitió superar la relación causal entre forma y función, es decir el determinismo funcionalista del movimiento moderno. A partir de la analogía con ciertos principios cibernéticos (*feedback*, *performance*) se puso el foco en el funcionamiento del edificio, más que en la función.

2.1.2 Analogía cibernética: el concepto de *performance*

En la década de 1950, la perspectiva holística que se venía fraguando en el ámbito de la psicología cognitiva y la corriente lingüística del estructuralismo, confluyeron en la teoría de sistemas, que se oponía al reduccionismo que suponía analizar un fenómeno por partes. Para el estructuralismo, la estructura era un constructo intelectual y abstracto mediante el cual el mundo de las cosas se hace inteligible. Esta noción de estructura servía para describir la organización o interrelación entre componentes, elementos o hechos, y formaba parte de un modelo según el cual el acto de conocer consistía en apropiarse de una totalidad, más que con entender el significado o función de cada parte. Este concepto de estructura era también válido para la teoría de sistemas. La cibernética estudió los sistemas artificiales por medio de analogías con los sistemas naturales, mediante conceptos como interacción y autorganización. Fue Norbert Wiener (*Cybernetic or Control and Communication in the Animal and the Machine*, 1948) quien propuso el término cibernética (del griego «kybernetes», que se refiere al timonel, quien “gobierna” una embarcación) para referirse al estudio de problemas planteados en ámbitos aparentemente tan dispares como la física, la biología, el estudio del cerebro y de los ordenadores. Las contribuciones de Alan Turing (“Computing Machinery and Intelligence”, 1950) y Claude Shannon (*The Mathematical Theory of Communication*, 1949), Ross Ashby (*Design for a Brain*, 1952) y John von Neumann (*The Computer and the Brain*, 1958) fueron fundamentales para el surgimiento de esta nueva ciencia. La cibernética reconocía que los sistemas generan procesos de control y comunicación para realizar sus objetivos, siendo esta una capacidad natural de los sistemas vivos u organismos (adaptación u homeostasis, aprendizaje y autoorganización) que podía trasladarse a los sistemas artificiales, como las máquinas y las organizaciones sociales. En los procesos de control y comunicación se compara continuamente el estado actual con el estado futuro deseado, lo que permite a los sistemas reorientarse o replantear continuamente sus acciones para alcanzar un objetivo. Este concepto de retroalimentación (*feedback*) rompía la cadena lineal entre causa y efecto, ya que el efecto actúa sobre la propia causa. La idea de retroalimentación es fundamental en la noción de *performance* referida al funcionamiento de un sistema, es decir, a su capacidad de cumplir con los objetivos predefinidos. Los procesos cibernéticos de control y comunicación, así como el concepto de *performance*, que tenían inicialmente aplicación en el campo de la tecnología, se extendieron a distintos campos del conocimiento. Estas ideas originadas en la cibernética llegaron al ámbito de la arquitectura, remplazando a otras visiones

previamente derivadas de la biología. La visión cibernética de la arquitectura llevó a reconsiderar el significado de función a la luz del concepto de *performance*, que sirvió sobre todo para superar el determinismo implícito en el concepto biológico de función.

La aplicación de ideas y principios de la cibernética a la arquitectura conllevaba que el edificio dejara de pensarse como un objeto aislado de su entorno. Tal como comentó Gordon Pask en su artículo “The Architectural Relevance of Cybernetics” (1969), los arquitectos son ante todo proyectistas de “sistemas”, cuyos componentes principales son la estructura y el individuo, y estos están en continua interacción y comunicación. A partir de este planteamiento sistémico y cibernético, Pask afirmaba: “[...] *the concept of functionalism can be usefully refined in a humanistic direction. The functions, after all, are performed for human beings or human societies. It follows that building cannot be viewed simply in isolation. It is only meaningful as a human environment. It perpetually interacts with its inhabitants, on the one hand serving them and on the other controlling their behavior. In other words structures make sense as parts of larger systems that include human components and the architect is primarily concerned with these larger systems; they (not just the bricks and mortar part) are what architects design*” (Pask, 1969, pág. 494). Desde el punto de vista cibernético el edificio era un entorno para el individuo (entorno construido), de la misma manera que el individuo lo era para el edificio (entorno humano). Pask concluía que el punto álgido del funcionalismo se hallaba en el concepto de “máquina para habitar”, es decir en el determinismo funcionalista: “*The high point of functionalism is the concept of a house as a ‘machine for living in.’ But the bias is towards a machine that acts as a tool serving the inhabitant. This notion will, I believe, be refined into the concept of an environment with which the inhabitant cooperates and in which he can externalize his mental processes, i.e. mutualism will be emphasized as compared with mere functionalism*” (Pask, 1969, pág. 496). A diferencia del planteamiento funcionalista, desde el punto de vista sistémico, una casa, o un edificio en general, era considerado como una máquina al servicio de un habitante que interactúa con el mismo.

De esta manera las ideas provenientes de la cibernética sirvieron para apoyar la crítica al determinismo funcionalista del movimiento moderno, su concepción abstracta de la forma, que había llevado a perder de vista al individuo como protagonista de la arquitectura y a la realización de edificios que acabaron siendo objetos artísticos aislados. Esta crítica se ejerció y se difundió por medio de una serie de manifiestos, como el *Manifiesto de Doorn* (1954) del Team 10, el *Manifiesto de l’Architecture Mobile* (1956) de Yona Friedman y el *Manifiesto Metabolista* (1960), que defendían la necesidad de explorar la relación del individuo con el espacio que habita, sus hábitos y tareas, su comportamiento, y su manera de percibir y apropiarse del espacio, para luego concebir la forma. Pensar en el usuario más que en el uso supuso liberarse de la idea de una función predeterminada (la función como propósito del edificio en los términos prescritos socialmente), para considerar cómo se usaría o percibiría el edificio, es decir su funcionamiento.⁴⁷ De ahí que el Team 10, Yona Friedman, Kenzo Tange y el grupo

⁴⁷ Tal como confirma Adrian Forty en su texto *Words and Buildings* (2000), el término “usuario” fue uno de los últimos en aparecer en el discurso moderno para referirse a “[...] *the emancipatory power [...] against functional determinism*” (Forty, 2000, pág. 312).

Archigram pensaron el edificio como un sistema dinámico, es decir una organización literalmente cambiante en el espacio y tiempo que negaba la forma estática y era capaz de adaptarse a las exigencias de sus usuarios.

De acuerdo con el pensamiento cibernético, el conjunto forma-entorno constituye en sí mismo un sistema. En el ámbito de la arquitectura se empleó el término “contexto” para referirse al entorno como el conjunto de los condicionantes específicos de la forma. Christopher Alexander y John Habraken, a partir de un enfoque antropológico, definieron el contexto como los hábitos de un cierto lugar que dan lugar a formas, cuyas propiedades dependen de la experiencia individual de uso del espacio. Aldo Rossi y Robert Venturi entendieron el contexto como el continente de valores simbólicos, tanto en su acepción histórica como vernácula. Ambos entendieron la forma como un lenguaje basado en símbolos o códigos, cuyo fin era la experiencia estética. Estos dos planteamientos, el de Alexander/Habraken y el de Rossi/Venturi daban lugar a sistemas que tenían diversos propósitos, uno basado en el control y el otro en la comunicación. En lo referente al sistema de control, la *performance* respondía al cumplimiento de la demanda o necesidades del usuario; el edificio servía al usuario y controlaba su comportamiento. Considerada como parte del sistema de comunicación, la *performance* facilitaba los intercambios entre el edificio y el usuario.

A principios del siglo XXI surgió una tercera vía acerca del concepto de *performance* que integraba lo comunicativo y lo material. Este significado ampliado de *performance* llevó a la producción de edificios que expresan aspectos relacionados con lo social y lo cultural, así como también puramente técnicos. Esta nueva expresividad material dio origen a lo que se ha definido como “arquitectura performativa” (*performative architecture*). Así como el concepto de función fue asimilado por la arquitectura hasta definir una arquitectura funcional, el concepto de *performance* ha dado lugar a un “estilo performativo”, o “performatismo” (*performalism*).

2.1.2.1 La forma como desarrollo: organización espacial y temporal

En la década de 1950, las ideas provenientes de la cibernética y la teoría de sistemas incitaron a crear proyectos vanguardistas que se oponían al planteamiento determinista del movimiento moderno y a su manera de entender el edificio como un objeto aislado. Aunque nunca hicieron referencia directa a la cibernética, el Team 10, grupo de jóvenes arquitectos formado en el ámbito del noveno congreso CIAM (Congreso Internacional de Arquitectura Moderna) en Aix-en-Provence (1953), recurrieron a conceptos cibernéticos para oponerse al planteamiento de la vieja guardia representada por Le Corbusier y Gropius. De hecho, este grupo integrado por Aldo van Eyck, Jacob Bakema, Alison y Peter Smithson, Georges Candilis, Giancarlo de Carlo y Shadrach Woods, refutó las recomendaciones de la Carta de Atenas (1933), como la fragmentación de la ciudad en zonas funcionales compartimentadas (habitar, circular, trabajar, recrear), y propusieron en su lugar una visión sistémica de la ciudad. El Team 10 no rechazaba la función, pero reivindicaba el protagonismo de las personas.⁴⁸ Para estos jóvenes arquitectos, la forma

⁴⁸ Peter Smithson afirmaba: “*We are still functionalists and we still accept the responsibility for the community as a whole, but today the word functional does not merely mean mechanical, as it did thirty*”

no dependía solo de la función, sino también del uso. Básicamente, el Team 10 planteaba un concepto de forma que reconocía la interacción estructura-hombre que se postulaba desde la cibernética.

En el *Manifiesto de Doorn* (1954), que fue elaborado por el Team 10 en una reunión informal y luego publicado por Alison y Peter Smithson, se afirmaba: “*It is useless to consider the house except as a part of a community owing to the inter-action of these on each other*” (Smithson & Smithson, 1968, pág. 75). Un edificio interpretado funcionalmente solo podía ser útil si se consideraba en el contexto de la comunidad. La ciudad se entendía como una totalidad compleja formada por comunidades autónomas que, a su vez, se articulaban a partir de las relaciones entre las personas más que de funciones preestablecidas. Así, el Team 10 argumentaba: “*The problem is one of developing a distinct total structure for each community, and not of subdividing a community into parts*” (Team10, 1982, pág. 73). En otras palabras, la ciudad era más que la “suma de sus partes”. Para ello, el equipo analizó los principios estructurales del crecimiento de la ciudad, que comenzaba con la agregación de células familiares (casas), para dar paso a la creación de la calle (lugar de encuentro social), al distrito y finalmente de la ciudad. Para el Team 10 la ciudad debía pensarse a partir de la relación del individuo con los patrones de asociación (la vivienda, la calle, el distrito y la ciudad). Las costumbres diarias de la gente y la manera de apropiarse de los espacios, condicionaban el edificio o la ciudad. De esta forma, el usuario se convertía en habitante, pues se reconocía en el espacio que habitaba. Esta visión “humanista” de la arquitectura tiene claros referentes en la fenomenología de Edmund Husserl y de Martin Heidegger. En su texto “*Building, Dwelling, Thinking*” (1954), Heidegger sostiene: “[...] *dwelling would in any case be the end that presides overall building. Dwelling and building are related as end and means*” (Heidegger, 1971, pág. 144). Según Heidegger, el significado del espacio se debe a su uso: la vivienda debe pensarse en respuesta a la necesidad esencial de habitar. Esta filosofía del espacio influyó en uno de los integrantes del Team 10, Aldo van Eyck, y en su alumno Herman Hertzberger, quienes propusieron crear edificios que facilitaran la apropiación del espacio por parte del usuario, de manera que éste pudiese convertirse en “habitante” –*user become inhabitant* (Hertzberger, 1991, pág. 28). Hertzberger afirmaba: “[...] *architecture should offer an incentive to its users to influence it wherever possible, not merely to reinforce its identity, but more specially to enhance and affirm the identity of its users*” (Hertzberger, 1991, pág. 148).

Las ideas sistémicas y cibernéticas condujeron a la negación de la forma, al abandono de órdenes predefinidos y a la creación de estructuras indeterminadas e incompletas que podían cambiar con el tiempo y expandirse en el espacio. El Team 10 organizaba la ciudad a partir de una estructura formal flexible llamada *cluster* (racimo, ramificaciones), que permitía interconectar elementos dispersos en el espacio según los diversos grados de intensidad de uso, dando lugar así a un entramado de caminos y conexiones (Figura 12). El edificio, como la ciudad, era una configuración de interconexiones sin límites de crecimiento en el espacio y el tiempo. Así, la forma debía

years ago. *Our functionalism means accepting the realities of the situation, with all their contradictions and confusion and trying to do something with them*” (Smithson & Smithson, 1957).

ser flexible e indeterminada para permitir que el individuo pudiese apropiarse de ella, acabar de configurarla en el proceso de habitar el espacio. En 1974, Alison Smithson acuñó el término *mat-building* para describir edificios creados a partir de una estructura espacial basada en tres parámetros: interconexión, patrones de asociación y posibilidad de crecimiento, disminución y cambio. Smithson afirmaba: “*Mat-building can be said to epitomize the anonymous collective; where the functions come to enrich the fabric, and the individual gains new freedoms of action through a new shuffled order, based on interconnection, close knit patterns of association and possibilities for growth, diminution and change*” (Smithson & Smithson, 1974, pág. 573). Además, añadía: “*The systems will have more than the usual three dimensions. They will include a time dimension*” (Smithson & Smithson, 1974, pág. 573). El *mat-building* estaba concebido con una lógica urbana y llegaba a alcanzar escala de ciudad (Figura 13). Este tipo de edificio era un ejemplo de planificación abierta, por su capacidad de adaptarse a los cambios. El *mat-building*, al igual que el *cluster*, era anti-figurativo, anti-representacional y anti-monumental.

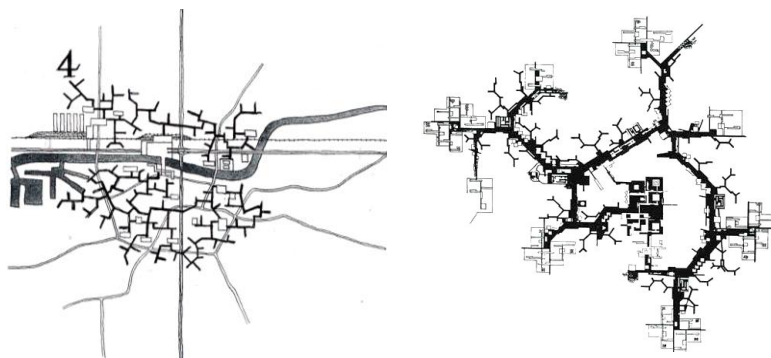


Figura 12. Cluster City (1952), Alison y Peter Smithson. Concurso para la ampliación de Toulouse-Le Mirail (1961-1971), Candilis, Josic, Woods. Fuente: (Smithson & Smithson, 1974).



Figura 13. Freie Universität (1963-1973), Candilis, Josic y Woods. Orfanato de Amsterdam (1960), Van Eyck. Fuente: (DPA, 2011).

Archigram (Peter Cook, Johana Mayer, Warren Chalk, Ron Herron, Dennis Crompton, Michael Webb y David Greene), defendió el uso de la tecnología como medio para crear una ciudad utópica. El énfasis en la tecnología se plasmó en la concepción literal del edificio como sistema cibernético, esto es, un dispositivo capaz de actuar y autoorganizarse: el edificio podía desplazarse, moverse, transformarse y cambiar en el tiempo para adaptarse a los requisitos de cada lugar. La cibernética, de hecho, planteaba

la posibilidad de reproducir los procesos de los organismos vivos por medio de la tecnología. El Furniture Industry Headquarters (1958) de Michael Webb no surgía de un orden formal, sino que era un conjunto de instalaciones, pasarelas y chimeneas (Figura 14). La Plug-in City (1964) de Peter Cook, no era propiamente una ciudad, sino una infraestructura de servicios y transportes capaz de crecer en el espacio y de dar servicio a células habitables (Figura 14). La Walking City (1964) de Ron Herron era un organismo peripatético (Figura 14). La Instant City (1969) de John Mayer era más bien una estructura de naturaleza temporal, transportable y capaz de posarse en diversos lugares. La característica común de todas estas propuestas no residía solo en el papel fundamental de la tecnología como lenguaje de expresión formal, sino también en la sustitución de una forma determinada y estática por una estructura formal indefinida, así como también en la disolución de los límites entre la ciudad y el edificio. Aunque estas propuestas radicales y provocadoras no llegaron a realizarse, anticiparon algunos conceptos que se aplicaron luego en la arquitectura de la década de 1970.



Figura 14. Furniture Industry Headquarters (1958), Michael Webb. Plug-in City (1964), Peter Cook. Walking City (1964), Ron Herron. Fuente: (Cook, 1999).

Muchas de las ideas del grupo Archigram estuvieron influenciadas por Yona Friedman, quien introdujo el concepto de la arquitectura móvil (*Manifesto de l'Architecture Mobile*, 1956). Friedman no entendía la movilidad en su sentido literal (como lo hizo el grupo Archigram), pero pensaba que el edificio es móvil en tanto que cualquier forma de utilización por parte del usuario debía ser posible y factible. La forma no estaba cerrada ni fijada, sino sujeta a cambios. La Ville Spatiale (1958) es uno de sus trabajos teóricos, realizado a partir de las ideas cibernéticas de interacción y autoorganización, en el que una estructura espacial tridimensional responde a las necesidades de movilidad física y social del individuo contemporáneo (Figura 15). Friedman definía la villa espacial como una infraestructura, un término tradicionalmente vinculado a rangos más amplios de la escala del edificio; la infraestructura es la red de servicio de una ciudad, o de un territorio. Friedman buscaba eliminar cualquier tipo de ordenación fija, difuminando el límite entre arquitectura y ciudad: el edificio llegaba a extenderse físicamente en el espacio alcanzado la dimensión de una ciudad. De aquí deriva el concepto de “megaestructura”.⁴⁹

⁴⁹ Megaestructura es un término que se popularizó en la década de 1960. Reyner Banham publicó un libro sobre este tema, *Megastructure: Urban Futures of the Recent Past* (1976), y en él atribuía a Fumihiko Maki haber usado por primera vez “Mega-structure” en *Investigations in Collective Form* (1964). Maki describió la megaestructura en estos términos: “[...] a large frame in which all the functions of a city or part of a city are housed. It has been made possible by present day technology. In a sense it is a man-made feature of the landscape. It is like the great hill on which Italian towns were built” (Banham, 1976, pág. 8). Además,



Figura 15. La Ville Spatiale (1958), Yona Friedman. Fuente: (Friedman, 2006).

Muchas ideas cibernéticas pueden verse reflejadas también en el trabajo de los “metabolistas japoneses”, para quienes la ciudad era un sistema en continuo cambio y crecimiento.⁵⁰ El Plan for Tokio (1960) de Kenzo Tange fue concebido como una infraestructura de escala urbana capaz de reproducir ciertos procesos de los organismos vivos (homeostasis, autoorganización, autorregulación). Estaba compuesto de un eje extensible a lo largo de la bahía de Tokio (ciclo metabólico largo), desde el cual se proyectaban ejes que alojaban edificios flexibles y abiertos, es decir que podían cambiar con facilidad (ciclo metabólico corto).

El Fun Palace (1961), de Cedric Price, fue concebido como un dispositivo cibernético máquina-hombre que funcionaba en base a un proceso de retroalimentación (*feedback*) en tiempo real.⁵¹ Se trataba de un ensamblaje de componentes tecnológicos que respondían dinámicamente a los inputs de los visitantes (Figura 16). El proyecto fue fruto de la colaboración de Price con la directora de teatro Joan Littlewood y con Gordon Pask. Littlewood hizo hincapié en los aspectos comunicativos del proyecto, aplicando algunos principios de teatro experimental (*Performance Studies*) y fomentando la participación del espectador en la representación teatral. Pask, por su parte, interpretó la interacción del edificio con el usuario desde el punto de vista cibernético, proponiendo que el edificio, además de proporcionar un servicio al usuario, permitiese que este lo controlara. En relación con esto, Littlewood comentaba: “*The activities designed for the site should be expendable and changeable. The organization of space and the object occupying it should, on the one hand, challenge the participants’ mental and physical dexterity and, on the other, allow of space and time, in which passive and active pleasure is provoked*” (Littlewood, 1964, pág. 432). El edificio debía reaccionar frente al cambio

Banham se refería a la definición de megaestructura que Ralph Wilcoxon propuso en 1968: “[...] *not only a structure of great size, but...also a structure which is frequently: 1) Constructed of modular units; 2) Capable of great or even ‘unlimited’ extension; 3) A structural framework into which smaller structural units (for example, rooms, houses, or small building of other sorts) can be built-or even ‘plugged-in’ or ‘clipped-on’ after having been prefabricated elsewhere; 4) A structural framework expected to have a useful life much longer than that of the smaller units which it might support*” (Banham, 1976, pág. 2).

⁵⁰ El metabolismo japonés es un movimiento iniciado en el año 1959 bajo la influencia de Kenzo Tange, que tomó prestada la idea de la fisiología para describir la ciudad como un organismo vivo, un ser en constante transformación con un metabolismo propio. El término metabolismo, de hecho, es un neologismo que deriva del griego «μεταβολή», que significa cambio, y el sufijo -ismo, cualidad o sistema, y se usa para indicar el sistema de intercambio de materia y energía que tiene lugar en las células. El grupo de seguidores estaba formado por Kisho Kurokawa, Kiyonori Kikutate, Masato Otaka y Fumihiko Maki.

⁵¹ El Fun Palace funcionaba como un “servomecanismo”, un mecanismo usado en barcos o cohetes para captar información del entorno y modificar su estado en función de las circunstancias para alcanzar determinados objetivos. Básicamente se trataba de un sistema adaptivo, asimilable al “AA predictor” de Norbert Wiener que se ha descrito en el primer capítulo, pero con objetivos distintos.

de los patrones de uso de sus ocupantes y también debía facilitar nuevos patrones. Los ocupantes, al ser un componente más del sistema, estarían influenciados por el edificio y a la vez ejercerían su influencia sobre el mismo.

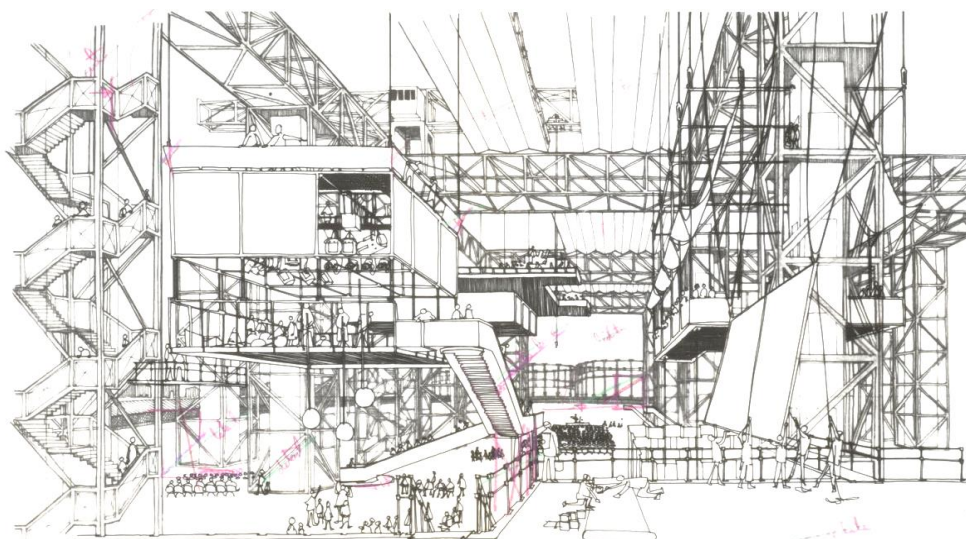


Figura 16. Fun Palace (1961), Cedric Price. Fuente: Cedric Price Archives, Canadian Centre for Architecture, Montreal.

El optimismo tecnológico de las vanguardias de la década de 1960 hizo surgir una corriente arquitectónica que tenía plena confianza en la técnica, conocida como “High-Tech”. Las ideas de Cedric Price y de Archigram se materializaron en el Centre Georges Pompidou (1972-75), de Richard Rogers, Renzo Piano y Pietro Franchini. El edificio fue concebido como una enorme caja con los elementos técnicos dispuestos en la fachada (estructurales, instalaciones). Esencialmente se trata de un dispositivo de control climático colosal que, en lugar de ocultar sus mecanismos, los exponía convirtiéndolos en parte de su expresión formal.⁵² Otros edificios que formaban parte de esta corriente tecnológica fueron el Lloyd’s Building de Londres (1978-1986), de Richard Rogers, la sede del Hong Kong and Shanghai Bank (1985) y el Sainsbury Centre for Visual Arts (1977), de Norman Foster, así como las obras de Nicholas Grimshaw.

⁵² En su texto *The Architecture of the Well-Tempered Environment* (1969), Banham consideraba el control ambiental del edificio como un aspecto fundamental de la arquitectura, bajo cuyo prisma “rescribió” la historia de la arquitectura. Así, Banham analizó los cambios formales causados por los avances tecnológicos en climatización, que dieron lugar edificios cada vez más desvinculados de las condiciones climáticas y ambientales de su entorno. De hecho, el movimiento moderno se caracterizó por el abandono de las estructuras masivas y su sustitución por cajas de vidrio. Así Banham afirmaba: “*The achievement of invisibly serviced glass enclosures clearly satisfied one of the leading aesthetic ambitions of modern architecture, but in doing so it flouted one of its most basic moral imperatives, that of the honest expression of function*” (Banham, 1969, pág. 234). Luego, las instalaciones llegaron a tener expresión formal. Con los Richards Laboratories (1957-64), realizados en la University of Pennsylvania por Louis Kahn, en el que se distinguía entre espacios “servidos” y “sirvientes”, empezó a cristalizar la expresión formal de la tecnología, que continuaría más tarde con el centro comercial La Rinascente (1961) de Milán, la fábrica de Olivetti (1964) y el Centro Pompidou (1977).

2.1.2.2 La forma como control: lo individual y lo colectivo

Sin renunciar a los avances de la tecnología, en las décadas de 1960 y 1970, se fueron configurando diversos planteamientos teóricos que intentaban afrontar el relativismo cultural a partir de la relación de la forma con el contexto social. Esto es el caso de las teorías de Christopher Alexander y John Habraken, quienes no entendieron el edificio como un sistema literalmente capaz de moverse, sino como un sistema capaz de ajustarse a los hábitos y las características físicas de un cierto lugar, y que al mismo tiempo fuese capaz de definir la identidad de ese lugar. La comunidad, más que el usuario considerado individualmente, establecía los requisitos que el edificio debía cumplir. Por tanto, el edificio era un sistema material cuya finalidad era servir al individuo, pero también controlar su comportamiento (control homeostático). La *performance* de este sistema, por tanto, se basaba en el cumplimiento de objetivos funcionales (*performance* tecnológica), como las necesidades del individuo y de la colectividad.

La idea cibernética de control homeostático permeaba los escritos de Alexander, quien criticó la concepción de la forma de los funcionalistas modernos. En su tesis doctoral *Notes on the Synthesis of Form* (1964), Alexander afirmaba que los edificios modernos (*selfconscious culture*), a diferencia de los edificios antiguos y anónimos (*unselfconscious culture*), eran pensados como objetos artísticos aislados y seguían ciertos principios estéticos autoimpuestos, refutando explícitamente el vínculo con la tradición. Por el contrario, los edificios tradicionales se adaptaban perfectamente al entorno físico y a los hábitos de una comunidad en base a una serie de ajustes graduales en el tiempo (proceso empírico de prueba-error). Esta adaptación homeostática entre la forma y el contexto permitía asegurar el funcionamiento del edificio.⁵³ Así, Alexander afirmaba de manera explícita que la forma no podía considerarse aisladamente de su contexto: “[...] *when we speak of design, the real object of discussion is not the form alone, but the ensemble comprising the form and its context*” (Alexander, 1964, págs. 15-16). Paradójicamente, esta idea de forma como sistema basado en el conjunto forma-contexto recordaba a la teoría de los funcionalistas modernos (Sullivan, Wright, Le Corbusier), quienes afirmaban que la forma surgía directamente del entorno. Pero mientras que los funcionalistas modernos plantearon el conjunto forma-entorno como un sistema trascendental y abstracto, donde la forma debía responder de manera unívoca a una demanda prescrita por la sociedad (función), Alexander consideró el conjunto forma-contexto como un sistema material de ajustes mutuos entre los artefactos y unos condicionantes específicos. Al respecto, escribió: “*In the pursuit of urbanism, the ensemble which confronts us is the city and its habits. Here the human background which defines the need for new buildings, and the physical environment provided by the*

⁵³ Alexander afirmaba: “*We know of no outstanding differences between the present states and past states of unselfconscious cultures; and this assumption, that the fit of forms in such cultures is the result of gradual adjustment (that is, improvement) over time, does not illuminate what must actually be a dynamic process in which both form and context change continuously, and yet stay mutually well-adjusted all the time. To understand the nature of the form-making process, it is not enough to give a quick one-word account of unselfconscious form-making: adaptation. [...] Roughly speaking, I shall argue that the unselfconscious process has a structure that makes it homeostatic (self-organizing), and that it therefore consistently produces well-fitting forms, even in the face of change. And I shall argue that in a selfconscious culture the homeostatic structure of the process is broken down, so that the production of forms which fail to fit their contexts is not only possible, but likely*” (Alexander, 1964, págs. 37-38).

available sites, make a context for the form of the city's growth" (Alexander, 1964, pág. 16). El contexto, que para Alexander era el conjunto de los condicionantes físicos y los patrones de comportamiento de una comunidad, determinaba las necesidades o la demanda funcional que la forma debía cumplir. Es más, Alexander se diferenciaba de los funcionalistas modernos al enfatizar la reciprocidad entre la forma y el contexto: "*The form is a part of the world over which we have control, and which we decide to shape while leaving the rest of the world as it is. The context is that part of the World which put demands on this form; anything in the world that makes demands of the form is context. Fitness is a relation of mutual acceptability between these two. In a problem of design we want to satisfy the mutual demands which the two make on one another. We want to put the context and the form into effortless contact or frictionless coexistence*" (Alexander, 1964, pág. 19). Según Alexander, la forma y el contexto debían adaptarse el uno al otro. Para lograr la unión forma-contexto, Alexander proponía un método basado en el análisis de los componentes del contexto y la síntesis de una forma capaz de cumplir con ellos. Como se verá en la segunda sección de este capítulo, este planteamiento metodológico resultó contradictorio en algunos aspectos.

Posteriormente, en su texto *A Pattern Language. Town, Buildings, Construction* (1977), Alexander propuso una taxonomía de "patrones de uso" que podían combinarse para la realización de un edificio o una ciudad. Así como la cibernética se centraba en la forma y los patrones más que en la materia y la energía, Alexander pensaba la ciudad como una organización definida por los patrones de comportamiento del individuo y la colectividad.⁵⁴ Los patrones de uso podían extraerse de la observación del funcionamiento de la ciudad y combinarse para la generación de un nuevo edificio o ciudad, siendo al mismo tiempo un elemento físico y una regla morfológica. Los patrones eran parte de otros patrones correspondientes a una escala más amplia, de la misma manera que contenían otros patrones de una escala más pequeña. Por tanto, desde una perspectiva sistémica, Alexander afirmaba: "[...] *no pattern is an isolated entity. Each pattern can exist in the world, only to the extent that is supported by other patterns: the larger patterns in which it is embedded, the patterns of the same size that surround it, and the smaller patterns which are embedded in it. This is a fundamental view of the world. It says that when you build a thing you cannot merely build that thing in isolation, but must also repair the world around it, and within it, so that the larger world at that one place becomes more coherent, and more whole*" (Alexander, 1977, pág. xiii). Básicamente, Alexander entendía la forma como un ensamblaje de patrones. Por tanto, no había una forma apriorística y fijada (tipo) sino que la forma nacía de la combinación de elementos como un lenguaje (*pattern language*). Según Alexander, esta organización de patrones (*living pattern language*) definía la cualidad intrínseca de lo construido, aquella generada por el uso más que por la función, y que convertía lo construido en una "estructura viva" (*living structure*).

⁵⁴ El antropólogo Gregory Bateson sostenía que la cibernética se ocupaba de la forma y los patrones, a diferencia de las otras ciencias que se ocupaban de la materia y la energía: "*The conservative laws for energy and matter concern substance rather than form. But mental process, ideas, communication, organization, differentiation, pattern, and so on, are matters of form rather than substance*" (Bateson, 1972, pág. xxvi).

La alternativa de Habraken surgía directamente de la crítica de los barrios residenciales europeos de posguerra; a su anonimato, a la repetición y a la exclusión del usuario. En su texto *Supports, an Alternative to Mass Housing* (1962), Habraken afirmaba que: *“If in housing we wish to restore human relationships, but mean to exclude today’s technical possibilities, we are following a road to the past, a road we cannot follow. If we wish only to develop the technological potential without touching human relationships, we end up with something like mass housing”* (Habraken, 1972, pág. 92). Habraken sostenía que la forma debía relacionarse con el contexto social y, al mismo tiempo, responder a las exigencias de los habitantes. Por esta razón propuso de separar conceptualmente aquello inamovible y colectivo que hay en todo edificio residencial (*support*), como son la estructura, las instalaciones y las oberturas, de aquello que pueda ser flexible e individualizable (*infill*), como las divisiones interiores, las piezas de cocina y baños: *“A support involves those decisions over which the community has control; the detachable unit [infill] is that area over which the individual decides”* (Habraken, 1972, pág. 21). Para Habraken el edificio era el resultado de un compromiso entre el ámbito colectivo, que podía llevar a la uniformidad, y las necesidades del ámbito individual.⁵⁵

Tanto el “lenguaje de patrones” de Alexander como el “sistema de soportes” de Habraken constituían unos sistemas abstractos capaces de representar la relación forma-contexto que garantizaba diversos niveles de control, desde el nivel de la relación estructura/usuario y comunidad/individuo, hasta el nivel de la relación arquitecto/sistema diseñado.⁵⁶ El edificio se entendía como un sistema de control del comportamiento del

⁵⁵ La propuesta de Habraken mantienen su vigencia en las investigaciones más actuales sobre sistemas generativos aplicados a la vivienda colectiva. La teoría de los soportes de Habraken está en el origen del concepto de *Open Building* (edificación abierta), basado en la separación de diversas esferas de toma de decisiones o niveles de control. BARCODE HOUSING SYSTEM es un sistema desarrollado por el grupo de investigación ARC Ingeniería i Arquitectura La Salle de Barcelona que aplica las tecnologías de la información y comunicación (TIC) al diseño y construcción de edificios de viviendas según los principios de *Open Building* (Madrazo, Cojo, Sicilia, & Costa, 2010).

⁵⁶ En el trabajo realizado por Ángel Martín Cojo para la obtención del DEA (Diploma de Estudios Avanzados), *Patrones y sistemas en el diseño arquitectónico, estudio comparado de la teoría de los Soportes de Habraken y el Lenguaje de Patrones de Alexander* (2010), se asimilan las teorías de Habraken y Alexander, soportes y patrones, a un sistema. Habraken establece relaciones entre un conjunto de elementos constructivos en un contexto específico: “[los] elementos y las relaciones entre ellos, forman el sistema” (Martín Cojo, 2010, pág. 40). En el caso de Alexander: “[...] la relación con el contexto está integrada en el propio elemento base de su sistema, el patrón” (Martín Cojo, 2010, pág. 41). Así, mientras que Habraken define el “soporte” (*support*) como la interacción de elementos (forma) en un contexto, Alexander define el “patrón” (*pattern*) como la unión indisoluble de la forma y la función en un contexto. La estructura de los dos sistemas, soportes y patrones, requiere asimismo dos formas distintas de control: *“Las diferencias en la estructura interna de los dos sistemas, el de Habraken y el de Alexander, conllevan un distinto tipo de control de los agentes que intervienen en el proceso de diseño”* (Martín Cojo, 2010, pág. 50). Martín Cojo afirma que: *“Para lograr un control externo de las variantes y subvariantes de uso, la primera decisión tomada por Habraken, es diferenciar entre distintos niveles de organización [...] en función de dos ámbitos de decisión, el colectivo y el individual”* (Martín Cojo, 2010, pág. 49). Para Habraken, las decisiones proceden del ámbito colectivo (control sobre los elementos comunes que constituyen el soporte) al individual (control de los elementos interiores de la vivienda). Por otro lado: *“Alexander no cree necesaria ni tan solo la intervención del arquitecto en el proceso de aplicación de su método”* (Martín Cojo, 2010, pág. 53). Para Alexander, una persona no-experta sería capaz de aplicar unos patrones previamente analizados y definidos por el arquitecto. Así, concluye Martín Cojo: *“Podría decirse que el Lenguaje de patrones [Alexander] invierte la línea de desarrollo de complejidad y toma de decisiones propuesta por Habraken moviéndose del conocimiento compartido y atemporal a la aplicación individual, en tanto que Habraken sitúa el conocimiento individual y su poder de decisión inmerso en un*

usuario, quien podía participar a su concepción para que se tuvieran en cuenta sus necesidades, sin intervenir sin embargo en las decisiones relacionadas con la comunidad y con el entorno físico. En este contexto, la tarea del arquitecto era crear los sistemas de control, operando en el nivel más alto de la jerarquía organizativa.⁵⁷

2.1.2.3 La forma como comunicación: signos, símbolos y texto

La cibernética también posibilitó que la relación entre el edificio y el individuo se entendiese en términos de comunicación. A semejanza del modelo cibernético de comunicación basado en la transmisión de información (transmisión/recepción), el edificio fue pensado como un sistema capaz de instaurar un diálogo con el individuo por medio de signos o símbolos (sistema simbólico), o reglas (sistema sintáctico). En ambos casos la relación del usuario/espectador con el edificio no se planteaba en términos visuales, tal como había propuesto el movimiento moderno, sino conceptuales. De hecho, la percepción de signos y símbolos, o de expresiones no figurativas, se fundamenta en la interpretación, es decir en la atribución del significado o sentido. Pero los dos tipos de sistemas de comunicación (simbólico y sintáctico), surgían de líneas de pensamiento distintas. Por un lado, la arquitectura considerada como sistema simbólico, una línea de pensamiento desarrollada por Aldo Rossi y Robert Venturi que llevó a revalorar las formas y símbolos tradicionales: el tipo, en el caso de Rossi; lo vernáculo, en Venturi. Por otro lado, la forma como organización sintáctica de elementos, en semejanza a un texto, una línea de pensamiento postulada por Peter Eisenman. En las obras representativas de ambas líneas, la *performance* hace referencia a la capacidad del edificio para comunicarse con un “espectador” o “receptor” (*performance* cultural).

En la década de 1960 la escuela italiana formada por Aldo Rossi, Giorgio Grassi y Carlo Aymonino, siguiendo los planteamientos de Alexander, criticó la falta de relación de los edificios modernos con su contexto. Sin embargo, los arquitectos italianos abordaron la cuestión del contexto de una manera diferente, influenciados en gran medida por Ernesto Nathan Rogers, quien defendía la necesidad de un diálogo entre la arquitectura y su entorno, o “preesistenze ambientali” (Rogers, 1955, pág. 1), es decir, el conjunto de edificios construidos con anterioridad que circundaban la obra nueva (entorno construido). Así, la relación de la arquitectura con su contexto (*ambiente*) era para Rogers una condición necesaria para conseguir la continuidad histórica entre los edificios nuevos y los ya existentes, que se realizaba integrando el lenguaje moderno con las técnicas constructivas y materiales de la tradición local. La dialéctica entre pasado y presente volvió a ser objeto de debate en el círculo de los arquitectos italianos, razón por

sistema de participación” (Martín Cojo, 2010, pág. 55). Ambos sistemas, soportes y patrones, permitirían la participación del individuo en los procesos de toma de decisiones.

⁵⁷ Pask se refirió a esta visión sistémica del diseño en los siguientes términos: “*Let us turn the design paradigm in upon itself; let us apply it to the interaction between the designer and the system he designs, rather than the interaction between the system and the people who inhabit it. [...] the relation 'controller/controlled entity' is preserved when these omnibus words are replaced either by 'designer/system being designed' or by 'systemic environment/inhabitants' or by 'urban plan/city'. But notice the trick the designer is controlling the construction of control systems and consequently design is control of control, i.e. the designer does much the same job as his system, but he operates at a higher level in the organizational hierarchy*” (Pask, 1969, pág. 496).

la cual la noción de tipo recibió una atención sin precedentes. Con su ensayo “On the Typology of Architecture” (1962), Giulio Carlo Argan hizo resurgir el interés por el estudio sistemático del tipo, es decir la tipología. La idea que tenían estos autores acerca del tipo, sin embargo, era distinta a la formulada por Quatremère de Quincy en 1825: mientras que para Quatremère el tipo era un principio fundamental inherente a la naturaleza y las formas del arte, para los arquitectos italianos el tipo era una conceptualización de los precedentes históricos.⁵⁸

En su manifiesto contra del funcionalismo moderno, *L'architettura della città* (1966), Aldo Rossi entendía el “ambiente” como el entorno construido propicio para la vida y la necesidad estética de una colectividad. Una idea clave de su libro era la crítica al *funzionalismo ingenuo*, término con el que se refería a la relación unívoca y lineal entre la forma y la función. Según Rossi, la forma no era el resultado de la función; de hecho, el movimiento moderno no era capaz de explicar la pervivencia de edificios cuyas funciones pertenecían a otra época, es decir la “*continuità dei fatti urbani*”.⁵⁹ Al contrario, la idea de una arquitectura explicada en términos de procesos mentales y existenciales, como la memoria y el recuerdo, explicaría por qué muchos edificios seguían existiendo a pesar de que su función originaria ya se había extinguido. Para Rossi la ciudad se construía a partir de la experiencia del hombre y la colectividad, más que como respuesta a una función: “*L'architettura è la scena fissa delle vicende dell'uomo; carica di sentimenti di generazioni, di eventi pubblici, di tragedie private, di fatti nuovi e antichi*” (Rossi, 1966, pág. 5). Los eventos históricos y personales constituían los “signos” a través de los cuales se establecía el diálogo entre el individuo y el entorno construido. De ahí que Rossi criticara el concepto de “*ambiente*” de Rogers, basado en la continuidad visual de la forma respecto a través de la historia de la ciudad. Para Rossi la continuidad entre el presente y el pasado debía buscarse en los elementos capaces de preservar la memoria histórica, como los tipos: “*Il tipo si va quindi costituendo secondo delle necessità e secondo delle aspirazioni di bellezza; unico eppur variatissimo in società diverse, è legato alla forma e al modo di vita. E' quindi logico che il concetto di tipo si costituisca a fondamento dell'architettura e ritorni nella pratica come nei trattati. [...] Se questo*

⁵⁸ Según Madrazo: “*For Durand, type was a link between analysis and synthesis. In this regard, Durand - but not Quatremere - is the most direct precursor of architects like Aymonino or Rossi, for who Type was the link between scientific analysis and artistic synthesis. Even though the Italian architects had referred to Quatremere's type as the source of their theories, it must be kept that Type for Quatremere was not so much a principle abstracted from the works of the past, as an abstract object of imitation which the artist derives from nature*” (Madrazo, 1995, pág. 224).

⁵⁹ Según Rossi, el funcionalismo moderno no era posible porque las ciudades están compuestas de edificios que han sobrevivido a su función original sin perder el significado: “*Classificazioni di questo tipo [funcionalismo] presuppongono che tutti i fatti urbani siano costituiti per una certa funzione in modo statico e che la loro stessa struttura sia coincidente con la funzione che essi svolgono in un determinato momento. Sosteniamo invece che la città è qualcosa che permane attraverso le sue trasformazioni e le funzioni [...]. La funzione viene quindi assunta soltanto nel suo significato di relazione più complessa tra più ordini di fatti scartando una interpretazione di legami lineari tra causa ed effetto che sono smentiti dalla realtà*” (Rossi, 1966, pág. 24). Y afirmaba: “[...] *ho già cercato di dimostrare come la funzione sia insufficiente a definire la continuità dei fatti urbani e se l'origine della costituzione tipologica dei fatti urbani è semplicemente la funzione non si spiega nessun fenomeno di sopravvivenza; una funzione è sempre caratterizzata nel tempo e nella società, ciò che da essa dipende strettamente non può che essere legato al suo svolgimento. [...] In realtà noi continuiamo a fruire di elementi la cui funzione è andata da tempo perduta; il valore di questi fatti risiede quindi unicamente nella loro forma*” (Rossi, 1966, pág. 29).

qualcosa, che possiamo chiamare l'elemento tipico o semplicemente il tipo, è una costante, esso è riscontrabile in tutti i fatti architettonici" (Rossi, 1966, pág. 14). Para Rossi, el estudio sistemático de los tipos, o tipología, era tanto un método de análisis como un mecanismo para conectar la arquitectura del pasado con la arquitectura del presente. Rossi analizaba el tipo que sintetizaba la construcción de la ciudad y lo aplicaba para realizar sus obras con el fin de preservar la memoria personal y colectiva.⁶⁰ A nivel formal, el uso del tipo llevó a la reaparición de formas tradicionales que habían sido abominadas por el movimiento moderno (torres, pórticos, cubiertas inclinadas, etc.), que no se adaptaban a la función o propósito del edificio moderno. De esta manera el trabajo de la escuela italiana llegó a confluír con una de las principales líneas de pensamiento de la arquitectura posmoderna, el "contextualismo", que recuperaba las referencias históricas para crear una continuidad formal entre los edificios históricos y los nuevos.⁶¹

En el mismo año en que apareció el célebre libro de Rossi, Robert Venturi publicó *Complexity and Contradiction in Architecture* (1966), otro manifiesto que criticaba el movimiento moderno. A diferencia de Rossi, que afirmaba que el problema del funcionalismo moderno residía en la función, Venturi creía que el problema principal estaba en la forma. Venturi sostenía que una de las limitaciones de los funcionalistas modernos se hallaba en el abandono de la dimensión simbólica de la arquitectura, en su incapacidad de transmitir significados. Más tarde siguió desarrollando sus ideas en *Learning from Las Vegas* (1972), escrito en colaboración con Denise Scott Brown, en el que defendieron que el sistema de comunicación de la arquitectura debía ser el de la ciudad contemporánea. Venturi y Scott Brown se alejaron del planteamiento de la escuela italiana, también debido a una cuestión idiosincrásica: Rossi reconocía el valor histórico de la ciudad y hacía hincapié en el tipo, pues la integración de un edificio nuevo en una ciudad tradicional era una problemática propiamente europea; Venturi y Scott Brown se centraron en los símbolos aparentemente banales, comerciales y vernáculos que caracterizaban a las ciudades de Estados Unidos. En ambos planteamientos subyace la relación forma-contexto, pero cambia la manera de analizar o interpretar el contexto. A partir del análisis del contexto, Venturi y Scott Brown concluyeron la forma arquitectónica podía hacerse legible y comunicable de dos maneras: o bien expresando la función por medio de la forma–*Duck*–; o bien superponiendo un elemento comunicativo

⁶⁰ En su proyecto para el Cimitero di Modena (1971), Rossi combinó formas puras (cono, cubo, prisma). Sin embargo, en proyectos posteriores negó la monumentalidad de las formas universales para volver a los tipos vernáculos: una torre-campanario octagonal se inserta en la Scuola di Broni (1970) y en el Teatro del mondo (1979). En el proyecto de las casas unifamiliares en Broni (1973), los edificios adoptaban el tipo edificatorio de la ciudad, es decir el pórtico en la planta baja y dos plantas.

⁶¹ El término "contextualismo" fue introducido en 1966 por Colin Rowe y sus alumnos de la Cornell University para definir la estrategia urbana basada en la modificación y adaptación de tipos predefinidos a las condiciones de su emplazamiento por medio del cual podía establecerse una continuidad con la morfología urbana y completar un patrón geométrico ya existente. En su artículo "Contextualism" (1976), Graham Shane describía el lenguaje del contextualismo: "*Such a glossary could begin with the term 'context'. By definition the design must fit with, respond to, or mediate its surroundings, perhaps completing a pattern implicit in the street layout or introducing a new one. Crucial to this appreciation of urban patterns is the Gestalt double image of the 'figure-ground'. This pattern, which can be read either way -solid or void, black or white- is the key to the contextualist approach to urban space*" (Shane, 1976, pág. 676). Este enfoque se vio reflejado en las obras de James Stirling, Leon Krier, Oswald Mathias Ungers y Hans Hollein, cuyas intenciones eran meramente formales.

a la forma –*Decorated Shed*– (Figura 17). La segunda vía es la que Venturi consideraba más directa y contemporánea⁶²: “[...] *we shall argue for symbolism of the ugly and ordinary in architecture [...] for architecture as shelter with symbols on it*” (Venturi & Scott Brown, 1972, pág. 90). Su proyecto para el concurso del National College Hall of Fame (1967) era una caja funcional cuya fachada consistía de una pantalla con anuncios y eslóganes. Otros arquitectos posmodernos adoptaron por el *Duck*, recurriendo a imágenes familiares y metáforas históricas. Por ejemplo, el Binoculars Building de Frank Gehry (1985), la Piazza d’Italia de Charles Moore (1978) y el Team Disney Burbank de Michael Graves (1986), combinan el clásico y el pop a partir de un proceso de apropiación azarosa de estilos del pasado. El resultado de este proceso, generalmente un edificio *kitsch*, era un simulacro, es decir una copia idéntica de un original que nunca había existido. De esta forma, la ciudad posmoderna llegó a albergar edificios-esculturas y edificios-pantallas que, a diferencia de los edificios de la arquitectura moderna, intentaban entablar una comunicación con las masas en lugar de dirigirse a una élite. Estos edificios, que pueden considerarse como el triunfo del populismo estético y como iconos de la sociedad del consumo, derribaron la antigua frontera entre la alta cultura y la llamada cultura de masas o comercial.

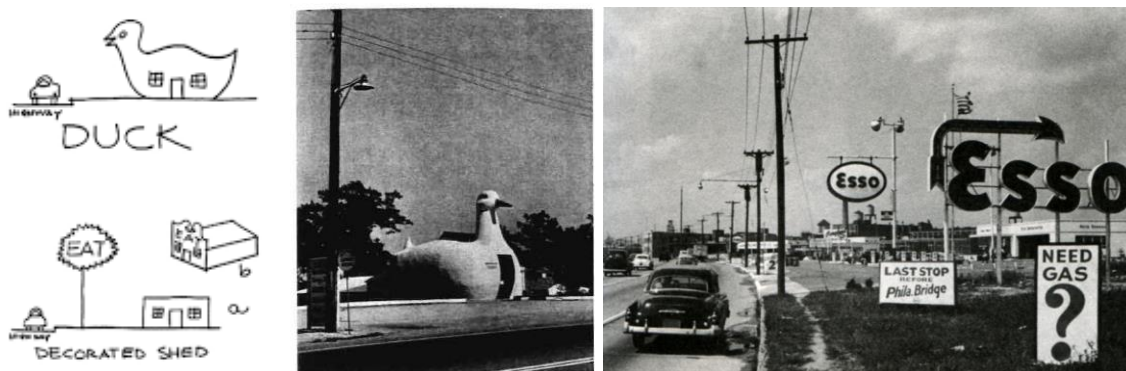


Figura 17. *Duck y Decorated Shed*, Robert Venturi. Fuente: (Venturi & Scott Brown, 1972).

En el debate sobre la arquitectura como sistema de comunicación, Peter Eisenman adoptó una posición contraria a la de sus contemporáneos. A diferencia de Rossi y Venturi, que consideraban a la arquitectura un sistema de comunicación simbólica, Eisenman planteó una concepción más intelectualizada y abstracta de la comunicación, en la que prescindía de cualquier manifestación figurativa para entender la forma como un texto que hay que interpretar. Eisenman afirmaba que no había correlación entre forma y función, de la misma manera que no había correlación entre forma y significado. Al igual que para los lingüistas la organización de las palabras, más que su significado, constituía lo esencial del lenguaje, para Eisenman lo esencial en un edificio es la estructura u organización de elementos de acuerdo a ciertas reglas. Bajo la influencia de

⁶²En cuanto a la primera estrategia comunicativa, Venturi afirmaba: “*By limiting itself to strident articulations of the pure architectural elements of space, structure and program, modern architecture’s expression has become a dry expressionism, empty and boring - and in the end irresponsible. Ironically, the modern architecture of today, while rejecting explicit symbolism and frivolous applique ornament, has distorted the whole building into one big ornament. In substituting ‘articulation’ for decoration, it has become a duck*” (Venturi & Scott Brown, 1972, pág. 103).

Noam Chomsky, Eisenman basó su teoría de la forma en la distinción entre “estructura profunda” y “estructura superficial”.⁶³ Según Eisenman, hay una estructura profunda que gobierna y otorga sentido a la forma, una estructura imprescindible para que la forma que está oculta tras la estructura superficial pueda percibirse. Mientras que la estructura superficial era responsable de la apariencia del edificio (material, color, textura), la estructura profunda tenía un carácter conceptual (organización y geometría): “*Deep aspect concerned with conceptual relationships which are not sensually perceived; such as frontality, obliqueness, recession, elongation, compression and shear, which are understood in the mind. These are attributes which accrue to relationships between objects, rather than to the physical presence of the objects themselves*” (Eisenman, 1971, pág. 38). Para Eisenman, la esencia de la forma no debía buscarse en la organización visible de sus elementos, es decir de la percepción sensible; la forma era el resultado de un proceso de aplicación de reglas de transformación que configuraban un lenguaje formal.

En una serie de viviendas unifamiliares realizadas entre 1968-1976, Eisenman aplicó reglas de sintaxis espacial (adición, sustracción, traslación, rotación, deslizamiento, etc.) para transformar una forma genérica, como un cubo, en una forma específica, una casa (Figura 18). La forma, por tanto, era el resultado de un proceso de transformación, más que de la aplicación de una forma predefinida (tipo), o del cumplimiento de ciertos objetivos funcionales. La forma genérica inicial no prefiguraba el resultado final; la forma final, por otro lado, era el resultado de un proceso que se iniciaba con la forma genérica.⁶⁴ Al describir su House I (1968), Eisenman afirmaba: “*The making of form can, for instance, be considered as a problem of logical consistency, as a consequence of the logical structure inherent in any formal relationship. The making of form in this sense is more than the satisfaction of functional requirements and more than the creation of aesthetically pleasing objects, but rather the exposition of a set of formal relationships [...] one way of producing an environment which can be accept or give a more precise and richer meaning than at present is to understand the nature of the structure of form itself, as opposed to the relationship of form to function or form to meaning*” (Eisenman, 1975, pág. 10). En definitiva, Eisenman defendía la autonomía de la forma respecto a cualquier condicionante externo (función, entorno). Para Eisenman la esencia de la forma residía en su estructura profunda, en el proceso que había llevado al resultado final, más que en la forma en sí; una forma que debía ser interpretada por el espectador.

⁶³ En su texto *Syntactic Structures* (1957), Noam Chomsky sostenía que el lenguaje tiene dos niveles de representación: la estructura profunda (*deep structure*) representa el componente semántico de una frase, mientras que la estructura de la superficie (*surface structure*) es la información fonológica adecuada para expresar ese pensamiento. La estructura profunda es convertida en una estructura superficial mediante reglas transformacionales (Chomsky, 1957).

⁶⁴ Esta idea de diseño como proceso de transformación derivaba de la idea de gramática generativa (*generative grammar*) de Noam Chomsky, quien describía la estructura formal del lenguaje en términos de transformaciones aplicadas a frases simples y declarativas –*kernel sentences*– por medio de reglas sintácticas. En Eisenman la frase simple (*kernel sentences*) correspondían a la forma genérica.

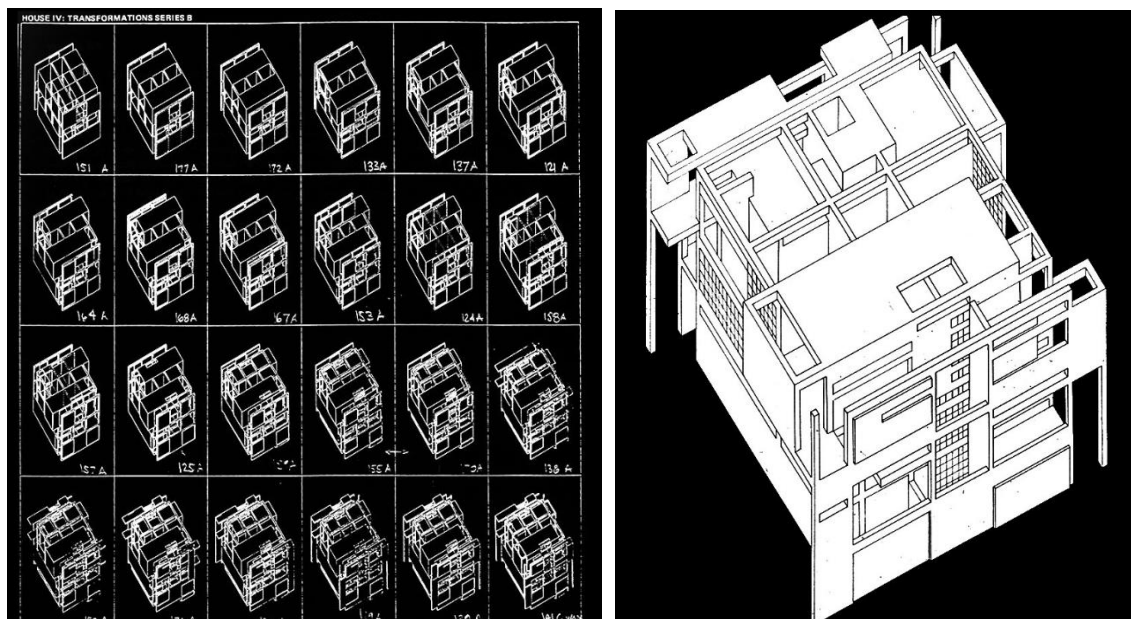


Figura 18. House IV (1971), Peter Eisenman. Fuente: Eisenman Architects.

A partir de 1980 se desarrollaron nuevas variantes de la aplicación del modelo lingüístico a la arquitectura. La forma se consideró el resultado de un proceso de desmontaje del lenguaje de signos, de la gramática o la sintaxis, de las referencias históricas y, finalmente, de la estructura del propio lenguaje. Este cuestionamiento del lenguaje dio lugar a la arquitectura deconstructivista, que reivindicaba el protagonismo de la forma frente al contexto y refutaba su capacidad de transmitir un mensaje. Sin embargo, la noción de sistema basado en la relación forma-contexto permaneció vigente, pero el contexto se entendió sobre todo como el lugar físico en el que se situaba el edificio. Los edificios de la etapa deconstructivista de Peter Eisenman (Wexner Center for Visual Arts, 1983-89 y Aronoff Center for Visual Arts, 1986-96), Daniel Libeskind (Museo Judío, 1987-99) y Zaha Hadid (Cuartel de Bomberos Vitra, 1988-94) destacaban visualmente de su entorno, pero al mismo tiempo reinterpretaban el emplazamiento (sus trazados, huellas y marcas geológicas). Estos edificios surgen de líneas fragmentadas y elementos yuxtapuestos que expresan una lógica conflictiva, congestionada y caótica que caracteriza a la ciudad contemporánea. Son edificios que reinterpretan su contexto para reforzarlo. Por consiguiente, puede afirmarse que la arquitectura deconstructivista no logró liberarse por completo la capacidad comunicativa de la forma. Pese a que los deconstructivistas quisieron romper con la idea de arquitectura como lenguaje, en realidad produjeron otro lenguaje que era voluntariamente incomprensible y meramente autorreferencial.⁶⁵ De ahí

⁶⁵ En sus textos *The Architecture of the Jumping Universe* (1995) y *The New Paradigm in Architecture* (2002), Charles Jencks revisó la definición de la arquitectura posmoderna a la luz de estas últimas tendencias deconstructivistas. La publicación de este último texto es en realidad la séptima edición, revisada y ampliada de su texto *The Language of Post-Modern Architecture* (1977). En las ediciones que sucedieron a la primera, Jencks revisó, amplió y contextualizó el posmodernismo en relación con los movimientos y tendencias arquitectónicas posteriores. La arquitectura posmoderna ya no se limitaba a ser una arquitectura narrativa, sino que ponía en duda al mismo tiempo la idea de arquitectura como lenguaje.

que la propia arquitectura se convirtiera en el objeto de la comunicación, en la clara manifestación de que “el medio es el mensaje”.⁶⁶

2.1.2.4 La *performance* como estilo: performalismo

A partir de 1990, la difusión del ordenador y de ciertos conceptos propios de la informática, como información, código y programa, llevaron a reformular una vez más la relación forma-contexto. Greg Lynn, Marcus Novak, Ben van Berkel, Lars Spuybroek y Kas Oosterhuis, entre otros, entendieron el contexto como un sistema de fuerzas o flujos de información que determinan la forma. Desde esta perspectiva, Lynn sostenía: “*Form can be shaped by the collaboration between an envelope and the active context in which is situated [...] force is an initial condition, the cause of both motion and the particular inflection of a form. [...] so that architecture can be modeled as a participant immersed within dynamic flows. [...] Instead of a neutral abstract space for design, the context of design becomes an active abstract space that directs form within a current of forces that can be stored as information in the shape of the form*” (Lynn, 1999, págs. 9-12). Según Lynn, la forma podía ser moldeada no solamente por la fuerza de gravedad, sino también por otros tipos de fuerzas invisibles y dinámicas vinculadas a la política, la economía, la cultura y la sociedad.

A diferencia de la arquitectura deconstructivista, que buscaba representar la complejidad del contexto usando el lenguaje de la fragmentación y de la ruptura, Lynn y otros arquitectos que habían empezado a experimentar con herramientas y técnicas digitales optaron por el lenguaje de la continuidad e integración.⁶⁷ El pliegue (*fold*), una superficie maleable y flexible, que puede torcerse, plegarse y moldearse se convirtió en un recurso formal capaz de congrega una multiplicidad de fuerzas en un elemento unitario y continuo.⁶⁸ Según Lynn, el acto de plegar una superficie (*folding*) permitía integrar aspectos discordes produciendo una forma compleja e irreducible a una forma ideal (tipo). En su célebre editorial de la revista *Architectural Design*, “Folding in

⁶⁶ En su texto *Understanding Media: The Extensions of Man* (1964), Marshall McLuhan afirmaba que el medio coincidía con el propio mensaje. McLuhan puso de relieve que en el mundo postmoderno el contenido importa menos que las estructuras de los medios que se utilizan para transmitir tales contenidos.

⁶⁷ El historiador Mario Carpo afirma: “[...] *the nineties started angular and ended curvilinear*” (Carpo, 2004, pág. 14). En su texto *Digital Culture in Architecture* (2010), Antoine Picon sostiene: “*Although the smooth forms of contemporary digital architecture are in complete contrast with deconstructionist violence, they have inherited from them the project to address with lucidity heterogeneous and often conflicting conditions*” (Picon, 2010, pág. 63).

⁶⁸ En su texto *The Fold: Leibniz and the Baroque* (1992), Gilles Deleuze afirmaba: “*The multiple is not only what has many parts but also what is folded in many ways. [...] a correspondence and even a communication between the two levels, [...] between the pleats of matter and the folds in the soul. [...] two under different conditions*” (Deleuze, 1992, pág. 3). El concepto de pliegue se aplicó en arquitectura a través de una serie de proyectos de Peter Eisenman: el Rebstockpark en Frankfurt (1991), cuya forma surgía de la continuidad topográfica, programática e histórica con su entorno; el Emory Center (1991) en Atlanta juntaba en una única superficie la topografía con las ondas sinusoidales de una armonía musical; y en el Max Reinhardt House (1992), donde se empleó la torsión para imprimir a las masas un movimiento helicoidal. Sin embargo, estos primeros proyectos concebidos por Eisenman bajo el concepto del pliegue no usaban el lenguaje de la curva: la forma seguía rompiéndose y fracturándose en una serie de planos para evocar y simbolizar el movimiento. Las formas resultantes del proceso del plegamiento permitían congelar un momento específico de una forma que se transforma en el tiempo. Finalmente, en el Columbus Convention Center (1993), Eisenman recurrió a formas fluidas para integrar los bloques de vivienda y oficinas con la forma del lugar.

Architecture” (1993), Lynn se refería al tránsito del lenguaje deconstructivista hacia el lenguaje de la continuidad: “[...] *smooth transformation involving the intensive integration of differences within a continuous yet heterogeneous system. [...] Smoothing does not eradicate differences but incorporates free intensities through fluid tactics of mixing and blending. [...] If there is a single effect produced in architecture by folding, it will be the ability to integrate unrelated elements within a new continuous mixture. [...] The complications of a plexus what could best be called complexity arise from its irreducibility to any single organisation. A plexus describes a multiplicity of local connections within a single continuous system that remains open to new motions and fluctuations*” (Lynn, 1993, págs. 8-9). El pliegue era un proceso animado por fuerzas inmateriales que producía efectos materiales. Esencialmente, por medio del pliegue se manifestaban los procesos dinámicos impulsados por las fuerzas socio-económicas y culturales. La idea de generar la forma a partir de la incorporación de los flujos de información derivados del contexto se aplicó en numerosos proyectos. Entre ellos la terminal marítima de Yokohama (1995-2002) de Alejandro Zaera Polo y Farshid Moussavi (FOA), concebido como una superficie continua generada por el flujo de los pasajeros, que servía además para descansar o tomar el sol. Pero el pliegue evolucionó también hacia un nuevo universo formal de poli-superficies isomorfas que Lynn definió como *blob –Binary Large Object* (Lynn, 1996, pág. 58).⁶⁹ El Museo Guggenheim (1997) de Bilbao, realizado por Frank Gehry a partir de una envolvente de superficies curvadas, se ha convertido en un edificio icónico capaz de integrar múltiples escalas, atraer al turismo masivo y estimular la economía local. El Water Pavilion (1994-1997), de Lars Spuybroek y Kas Oosterhuis (Nox), es un objeto amorfo cuya iluminación interior se modifica a medida que se recorre (Figura 19). La D-Tower de Doetinchem (1998-2003), de Lars Spuybroek, es una escultura que se comunica con su entorno cambiando de color según el estado emocional de los habitantes del núcleo urbano, información que se obtiene mediante un cuestionario on-line (Figura 19). El Selfridges Building de Birmingham (1999-2003), realizado por Jan Kaplický de Future Systems, y el Kunsthaus de Graz (1999-2003), museo diseñado por Peter Cook, son enormes ovoides que parecen haber llegado desde el espacio exterior. Todos estos edificios constituyeron la respuesta de la arquitectura a los cambios sociales, culturales y tecnológicos, al mismo tiempo que se convirtieron en el medio de transmisión de este cambio (Figura 20). Así, a partir del abandono de la dimensión simbólica de la arquitectura, la *performance* del edificio ya no se asoció a la trasmisión del mensaje, sino a la producción de emoción, sensación o afecto.⁷⁰

⁶⁹ La palabra inglesa *blob* significa literalmente una gota de líquido, una masa redondeada o un punto con forma amorfa. En 1995, Greg Lynn lo empleó para designar un tipo de arquitectura de formas libres y amorfas creadas con programas de modelado.

⁷⁰ En su texto *The Function of Form* (2009), Farshid Moussavi sostenía: “*Moreover, with the advent of globalization, symbols became increasingly ineffectual as a way of communicating meaning. [...] The culture is moving at an ever-accelerating pace, continually absorbing and co-opting critical positions, and it is no longer possible to grasp its perpetually changing processes from a position of detachment. [...] The idea that feelings and sensations are related to materiality is crucial, as these can only exist in the material world. [...] The question remains: how can a building perform as a multiplicity? Once assembled, built forms are fixed. [...] A possible explanation as to how forms, despite their origin, or the methods or intentions of the designer, can elicit multiple interpretations, and avoid being fixed, can be found in*



Figura 19. Arriba: Water Pavilion (1994-1997). Abajo: D-Tower (1998-2003). Lars Spuybroek. Fuente: Nox Projects.



Figura 20. Izquierda: Kunsthaus Graz (1999-2003), Peter Cook. Fuente: (Edler, 2005). Derecha: Selfridges Building (1999-2003), Jan Kaplický. Fuente: Fotografías de Richard Davies (2003), (Sudjic, 2003).

A principios del nuevo milenio, algunos arquitectos que provenían del high-tech, entre ellos Norman Foster, Renzo Piano, Nicholas Grimshaw, Toyo Ito, y Herzog & De Meuron, pensaron que la forma no debía expresar solamente las fuerzas socioeconómicas (culturales, políticas, sociales, etc.), sino también las fuerzas físicas cuantificables

Deleuze's discussion of affect. [...] Affections are the effect of a form on individuals and are subject to different types of mediation, whereas affects are pre-personal and unmediated and can generate different affections in different persons. The perception of an architectural form involves two stages. First, an affect is transmitted by a form. This affect is then processed by the senses to produce unique affections - thoughts, feelings, emotions and moods. As an affect can unfold into different affections or interpretations in different beings, it embeds a form with the ability to be perceived in multiple ways. Through the agency of specific affects, in each instance an architectural form performs as a singular multiplicity - as a 'function' that connects human beings to their environment as well as each" (Moussavi, 2009, pág. 19).

(gravedad, viento, radiación solar, energía, etc.). Con este objetivo, buscaron reconciliar a través de la forma los aspectos relacionados con el comportamiento físico del edificio y los que tenían la función de comunicar (Figura 21). De esta confluencia surgió un significado de *performance* que incluía tanto la efectividad técnica como la eficacia comunicativa. En su texto *Performative Architecture: Beyond Instrumentality* (2005), Branko Kolarevic afirmaba: “[...] *the performative architecture can indeed be defined very broadly — its meaning spans multiple realms, from financial, spatial, social and cultural to purely technical (structural, thermal, acoustical, etc.). In other words, the performative in architecture is operative on many levels, beyond just the aesthetic or the utilitarian*” (Kolarevic, 2005, pág. 205). Inicialmente, la “arquitectura performativa” tuvo un componente ético, ya que su objetivo era hacer un uso eficiente de los recursos, sin renunciar a crear formas singulares.⁷¹ El Swiss Re Building (1994-2004), también conocido como Gherkin London, realizado por Norman Foster & Partners, se distingue por su forma aerodinámica que minimiza el impacto del viento y representa al mismo tiempo el poder económico y financiero. Otro edificio surgido de la colaboración entre Foster y Arup, el Greater London Authority Headquarters (1998-2002), también conocido por City Hall London, es una forma singular que al mismo tiempo busca la eficiencia energética. El estadio Allianz Arena (2002-2005), realizado en Munich por Herzog & De Meuron y Arup, fue revestido con un material innovador (cojines inflables de ETFE) con el objetivo de mejorar la captación de luz solar, pero también para transmitir información sobre la cantidad de espectadores que ocupan el estadio o el equipo que está jugando por medio del cambio de color. El estadio olímpico de Pekín, Bird’s Nest (2003-2008), resultado de la colaboración entre el artista Ai Weiwei, Arup y los arquitectos Herzog & De Meuron, es un *landmark* urbano que se conformó a partir de su complejo entramado estructural. El National Aquatics Center (2008-2010), también llamado Water Cube, es la piscina olímpica realizada en Pekín por PTW Architects y la ingeniería Arup, concebida como un gran invernadero que puede comunicarse con su entorno cambiando los colores de la envolvente. Todos estos edificios no solo definieron una nueva estética, sino que además se convirtieron en la expresión de una nueva conciencia ética surgida en la cultura de la sostenibilidad.

⁷¹ Diversos autores, entre ellos Neil Leach, describieron este fenómeno como “nuevo materialismo”, un término que había sido acuñado por el filósofo Manuel De Landa. Leach afirmaba que el nuevo materialismo puede ser comparado con el materialismo dialéctico de Karl Marx. En cierto sentido, se basa en el mismo principio básico del pensamiento marxista, según el cual lo que se ve en la superficie es el producto de fuerzas más profundas. Este principio podía aplicarse al ámbito económico y abarcar el ámbito cultural. De Landa utilizaba el término “nuevo materialismo” para definir un nuevo paradigma que funcionaba como un manifiesto retroactivo para un movimiento cuya genealogía se remonta a los trabajos del biólogo D’Arcy Wentworth Thompson y del filósofo Henri Bergson, y que también señalaba al pensamiento científico reciente, sobre el que se asentó la arquitectura performativa. El nuevo materialismo se caracterizaba por un renovado interés en lo material, más que en lo simbólico. Esta fue una característica del “giro performativo” –*performative turn* (Leach, 2008, pág. 11)– en la arquitectura.



Figura 21. Swiss Re Building (1994-2004), Norman Foster. Bird's Nest (2003-2008), Herzog & Meuron. National Aquatics Center (2008-2010), PTW Architects. Allianz Arena (2002-2005), Herzog & De Meuron. Fuente: Arup Projects.

En su texto *Performatism, Form and Performance* (2012), Yasha Grobman y Eran Neuman introdujeron el término “performatismo” –*performatism* (Grobman & Neuman, 2011)– para describir el conjunto de tendencias y experimentaciones surgidas en torno al concepto de *performance* que estaban dando lugar a una nueva estética.⁷² El performatismo se caracteriza por la superación de los efectos escenográficos de la posmodernidad, y se basa en una nueva expresividad material capaz de encarnar aspectos que se contradicen como lo abstracto y lo material, la mente y la materia, la comunicación y el comportamiento físico. La idea de un nuevo estilo arquitectónico parece consolidarse también con la reaparición del “ornamento” en el debate arquitectónico, aunque con un significado completamente renovado.⁷³ El ornamento ya no se asocia a la noción clásica

⁷² El término “performatismo” se usó originariamente como título de una exposición organizada por Yasha Grobman y Eran Neuman en el Tel Aviv Museum (2008); Thom Mayne empleó este término en una conferencia en el New York’s Center for Architecture (2009). En su publicación *Performatism: Form and Performance in Digital Architecture* (2011), Grobman y Neuman son conscientes del riesgo del uso de los “ismos”: “Talking in ‘isms’ might be risky. ‘Ism’ assumes that behind a described phenomenon stands a group, a movement, or a collective, whose members share points of view, ideologies, and modes of production. [...] It alludes to a moment in history in which dispersed notions crystallize into a coherent idea and change political, cultural, and social notions brought to a rupture within certain realities, proposing new ways to look at, transform and engage with these realities. At times an ‘ism’ demarcates a perception of life in absolute terms, seeking a singular way to relate to and produce life. The risk of talking in ‘isms’ lies in the reduction of a certain phenomenon into several limited concepts. [...] Performatism takes the risk. It proposes defining a phenomenon common in architecture today while also providing a sort of manifesto for this phenomenon: a retro-manifesto” (Grobman & Neuman, 2011, pág. 3).

⁷³ En su texto *The Function of Ornament* (2006), Michael Kubo y Farshid Moussavi explicaron el significado de ornamento en su sentido contemporáneo, recurriendo a lo que podría parecer un oxímoron: la “función del ornamento”. Según estos autores la nueva función del ornamento es producir “afectos”: “[...] ornaments are intrinsically tied to architectural affects. The Seagram headquarters carefully attaches I-beams to its cladding layer to build a vertical affect. The Ricola Laufen factory uses slats of different heights on its exterior cladding to build a weighted affect. The Prada Tokyo store uses a diagrid with carefully selected concave glass panels to give a quilted affect to its exterior. The 30 St. Mary Axe office tower introduces a diagonal ventilation system, a diagrid, and two colors of glass to contribute a spiral affect to the form. None of these specific decisions are crucial to the operation of the building interior, but

de forma portadora de significado, más bien se entiende como el resultado de un proceso de organización material destinado a la transmisión de efectos estéticos. De hecho, en la arquitectura performativa la estructura o el material se expresan en el exterior y son tratados como una forma de ornamentación (Swiss Re Building y Allianz Arena). Aunque también es posible lo contrario, es decir, que la ornamentación se convierta en estructura o material (Bird's Nest). Así, la interrelación entre la estructura, el material y la ornamentación transformó cada una de estas categorías (estructura, materia y ornamento) en una nueva.⁷⁴ Paradójicamente, la expresividad material del edificio fue explorada a través de procesos “inmateriales” proporcionados por nuevas herramientas y técnicas digitales, como el uso del modelado paramétrico y los programas de simulación. Es por esto por lo que el estilo performativo no se limita a un nuevo tratamiento de la apariencia del edificio, es decir a un nuevo lenguaje estético. Es un estilo congruente con las ideas Semper y Viollet-le-Duc, quienes afirmaban que la apariencia externa es el efecto de ciertos procesos subyacentes que tienen que ver con las técnicas y valores de una época. En este sentido, el estilo performativo sería la expresión de la época actual.

they are vital to the affects they trigger in the urban landscape. Frits, laser-cut sheets, glass tubes, pleated floor plates, perforated screens, complex tiling, and structural patterns are some examples of our contemporary ornaments” (Moussavi & Kubo, 2006, pág. 9). En su artículo “Contemporary Ornament: The Return of the Symbolic Repressed”, Robert Levit afirmaba: “*Ornament has returned -again- from exile*” (Levit, 2008, pág. 1). Mientras que en *Pattern: Ornament, Structure and Behaviour* (2009), Andrea Gleiniger y Georg Vrachliotis sostienen: “[...] *ornament is once again very fashionable*” (Gleiniger & Vrachliotis, 2009, pág. 7). Antoine Picon dedicó un número de la revista *AD Primers, Ornament: The Politics of Architecture and Subjectivity* (2013) al retorno del ornamento: “*Over the past 10 to 15 years, ornament or rather ornamental practice has made a spectacular return in architecture*” (Picon, 2013, pág. 17).

⁷⁴ En su artículo “The Structure of Ornament” (2004), Greg Lynn comenta: “*It is not just the expansion of structure into the field of ornament, or of ornament becoming structural, but rather a dependency on collaboration that transform each category in some unforeseen and unprecedented way*” (Lynn, 2004, pág. 65).

2.2 Métodos de diseño

Siguiendo con la reflexión sobre cómo los principios de otras disciplinas inciden en la arquitectura, en esta segunda parte del capítulo se explora la influencia de la cibernética, la investigación operativa y el pensamiento sistémico en la nueva concepción de la forma, y en la formalización de su proceso de creación.⁷⁵ Durante el Renacimiento, después de que Leon Battista Alberti definiera el *disegno* como la actividad intelectual que precede a la construcción del edificio (*De Re Aedificatoria*, 1485), se publicaron una serie de tratados –Serlio (*Regole generali di architettura*, 1537), Vignola (*Regola dei cinque ordini*, 1562) y Palladio (*I quattro libri dell'architettura*, 1570)– que tenían como objetivo sistematizar el vocabulario y la sintaxis de la arquitectura clásica.⁷⁶ Otro momento crucial tuvo lugar en el siglo XVIII, cuando surgió la necesidad de clasificar el patrimonio arqueológico para sistematizar el conocimiento arquitectónico. Jean-Nicolas-Louis Durand (*Précis des leçons d'Architecture*, 1802-5), sin embargo, no se limitó a proponer un compendio de tipos ideales a imitar, sino que además realizó un análisis comparativo que culminó en un método de composición de la forma. Durand planteó un procedimiento sistemático basado en un vocabulario de elementos que podían conjugarse para crear edificios. Este “método de composición”, que luego fue desarrollado por la École des Beaux-Arts (1816), se mantuvo vigente a lo largo de todo el siglo XIX, y tuvo como contrapunto el racionalismo de Viollet-le-Duc y Semper.

Durante el movimiento moderno se abandonó la idea de composición clásica en favor del principio de que la forma es el resultado o consecuencia de la función. La aspiración racionalista y la necesidad de organizar el proceso de creación sobre una base científica resurgió con mayor insistencia a mediados del siglo XX, cuando la ingeniería de sistemas, la investigación operativa (IO), la teoría de la información y la cibernética dieron lugar a una nueva metodología, el diseño basado en prestaciones (DBP). El intento de transponer a la arquitectura esta metodología, que consideraba el diseño como una resolución de problemas, dio lugar a un cambio en la manera de entender el edificio, que

⁷⁵ En su tesis *The Concept of Type in Architecture* (1995), Madrazo aborda el tema de la sistematización del conocimiento en arquitectura, analizando algunos de los tratados renacentistas (Alberti, Serlio, Vignola, Palladio), en los que se recopilaban ejemplos de edificios del pasado para poder extraer reglas de creación de edificios. Luego, Madrazo describe el tratado de Durand como el primero en que se formalizó el conocimiento extraído de precedentes históricos de manera explícita. A diferencia de los tratados del Renacimiento, que buscaban expresar el principio subyacente a cada edificio específico, Durand planteó a un procedimiento genérico, o método de composición, capaz de trascender la singularidad del edificio. Madrazo afirma al respecto: “He [Durand] attempted to formalize that knowledge, that is to say, to make it generic and explicit. One way to prove that architectural knowledge can be made objective is by defining methods for creating buildings. After a method or methods have been created, architectural knowledge is no longer embedded in the buildings themselves, but rather in the procedures used to create them. By codifying architectural knowledge in the form of a method it becomes objective: it can be transmitted to and be applied by other architects; in other words, it becomes scientific. As a result, architects would not need to learn architecture by studying the works of the past, but rather by learning and practising abstract methods of design” (Madrazo, 1995, págs. 222-223). Según Madrazo esta labor de análisis de los proyectos y los edificios del pasado constituye una de las líneas de investigación permanentes dentro de la arquitectura, que se ha renovado a partir de la introducción del ordenador.

⁷⁶ *De Architectura* es el tratado sobre la arquitectura más antiguo que se conoce (Marco Vitruvio Polión, siglo I, a.C.). Fue retomado como referencia por los humanistas del Renacimiento interesados en conocer los principios de la arquitectura grecorromana.

comenzó a pensarse como un artefacto que debía cumplir con unos objetivos, más que una obra artística resultado de la composición. Esta fue la posición de Christopher Alexander quien consideró que la forma derivaba del análisis de los requisitos funcionales. Además, la formalización del diseño en un método analítico abrió la posibilidad de su reproducción por medio del ordenador.

Sin embargo, en el mismo período en que el método de diseño intentaba hacerse un lugar en la arquitectura, Peter Eisenman adoptaba un propio lenguaje formal y Aldo Rossi reconsideraba el tipo, demostrando así que no había una relación directa entre el análisis y la síntesis. De allí que, a partir de la década de 1970, en lugar de adaptar el proceso de diseño al potencial del ordenador, se intentara comprender, representar y formalizar el proceso creativo de manera que pudieran reproducirse con el ordenador. Esencialmente se planteó la posibilidad de reproducir por medio del ordenador los métodos de composición arquitectónica, aplicando reglas de composición (*rule-based methods*) y readaptando tipos existentes (*prototype-based methods*) u otras formas de conocimiento arquitectónico existente (*knowledge-based methods*).

A comienzos de la década de 1990, si bien en el ámbito académico se seguía investigando la posibilidad de automatizar el proceso de creación por medio de procedimientos desvinculados de la tradición y que simulaban ciertos procesos de la naturaleza (*evolutionary methods*), el ordenador irrumpió en la práctica arquitectónica como una herramienta adecuada para realizar algunas tareas específicas del proceso de creación de la forma, especialmente su representación. El uso experimental del ordenador como sistema generativo dio lugar a una arquitectura que era fundamentalmente objetual y que no tenía en cuenta la dimensión material, los procesos y sistemas constructivos, las propiedades físicas de los materiales y los espacios que iban a ser habitados. Además, la preocupación creciente por el medio ambiente y la sostenibilidad contribuyó a considerar negativamente a una arquitectura basada exclusivamente en el desarrollo de formas innovadoras. En este contexto, equipos multidisciplinares de arquitectos e ingenieros retomaron el diseño basado en prestaciones como una metodología útil para superar la arbitrariedad de los procesos de creación de la forma.

Esta segunda sección del capítulo se divide en tres partes. En una primera parte se aborda la aplicación de la metodología del diseño basado en prestaciones al ámbito arquitectónico por medio de métodos analíticos. La segunda parte se dedica a la investigación acerca de los métodos generativos aplicados en el diseño asistido por ordenador. Finalmente, en la tercera parte se aborda el uso del ordenador como medio para el diseño.

2.2.1 El método analítico: el ordenador como metáfora del diseño

Como se ha explicado en el primer capítulo, en la segunda mitad del siglo XX la cibernética, el pensamiento sistémico y la investigación operativa facilitaron el marco teórico para el desarrollo de la metodología del diseño basada en prestaciones, asentada en la noción de diseño como resolución de problemas. La aplicación de esta metodología a la arquitectura llevó al extremo ciertos principios en los que se basaba el funcionalismo moderno, especialmente la idea que la forma derivaba de la función. La expresión “problema de diseño” (*design problem*) se usó para indicar el conjunto de los requisitos

funcionales que debía cumplir un diseño (*design solution*). Así, entender el edificio como “solución” a un “problema” significaba considerarlo como un artefacto capaz de cumplir con unos requisitos funcionales. Este fue el planteamiento de Christopher Alexander, quien, entre otros, propuso un “método de diseño” para la arquitectura que facilitase la búsqueda de la forma (solución) adecuada a una demanda funcional (problema).

El entusiasmo por la aplicación de la investigación operativa a la arquitectura se hizo patente en la revista *Progressive Architecture*, que en 1967 publicó un artículo titulado “Performance Design”, en el que se anticipaban los beneficios del diseño basado en prestaciones: “A new profession has grown up in the last thirty years whose members, variously titled ‘systems analysts’, ‘system engineers’, and ‘operational researchers’, claim to have developed a unique methodology for problem-solving far superior to older methods used in other professions. To describe the implication of this methodology and ways of thinking about problems where architecture is concerned, P/A coined the term ‘Performance Design’ - or design based on a scientific method of analyzing functional requirements, including the psychological and aesthetic needs of people” (Rowan, 1967, pág. 105). El diseño basado en prestaciones en la arquitectura se basaba en el uso de métodos, herramientas y técnicas para definir los requisitos funcionales que un edificio debía cumplir, incluyendo las necesidades psicológicas y estéticas de los usuarios. La definición objetiva, clara y concisa de los requisitos funcionales en un “programa” era el paso previo y necesario para el éxito del “diseño”, es decir, para el cumplimiento de estos requisitos mediante el proceso sistemático de creación de la forma.

Sin embargo, cuando se publicó este artículo ya existían objeciones sobre los supuestos beneficios de esta metodología en la arquitectura. De hecho, en el mismo artículo ya se manifestaban las dudas de algunos arquitectos: “There are persons [...] who have grave misgiving about the implication of performance design. [...] that analytical methods of assessing human needs can never be as subtle as intuition [...]” (Rowan, 1967, pág. 151). Si bien los métodos analíticos eran efectivos para el diseño de productos tecnológicos, no lo eran tanto para el diseño de un edificio, en el que se debían considerar también aspectos no cuantificables, como la estética o el simbolismo.⁷⁷ Como se observará a lo largo de este capítulo, la metodología del diseño basado en prestaciones fue refutada explícitamente por un grupo de asistentes al *Portsmouth Symposium on Design Methods in Architecture* (1967), entre los que se hallaban Geoffrey Broadbent y Amos Rapoport. A su desmitificación contribuyó también el trabajo de críticos como Peter Collins y Alan Colquhoun, o arquitectos/críticos como Aldo Rossi y Peter

⁷⁷ En el artículo se afirmaba que los arquitectos que tenían una visión antitecnológica se podían identificar con las siguientes palabras del sociólogo Lewis Mumford: “There is no reason for architects to be overawed by computerized thinking and system-analysis techniques. The very qualities that make these methods so efficient in designing rockets, space satellites, and similar instruments or weapons, cripples them for more humane uses. System analysis cannot handle organic or human complexities without eliminating precisely those very qualities that make them organic or human. For all their glib talk about feedback, the exponents of systems analysis seem incapable of recognizing any feedback that would call into question the methods they are so fanatically propagating. [...] Current high-rise housing developments already demonstrate how inhuman even a half-backed system of mechanization can be. What prevents decent houses from being built is not old-fashioned methods of designing and building, but the rejection of any method that does not provide the maximum amount of profit and the maximum amount of bureaucratic organization to insure conformity” (Rowan, 1967, pág. 151).

Eisenman, contrarios a la idea de concebir un edificio como si fuese un producto tecnológico.

2.2.1.1 Diseño como problema

La hipótesis de que el diseño es un problema a resolver y la afirmación de que los problemas de diseño se habían vuelto demasiado complejos para un diseñador, eran las dos premisas básicas que impulsaron el desarrollo del método de diseño (*design methods movement*). Entender el diseño como problema implica que existen unos datos de partida, unos límites y unos objetivos a cumplir que configuran una condición inicial (problema) a la que se debe dar una respuesta por medio del diseño (solución). Christopher Alexander afirmaba que, al igual que en otros campos del diseño, también en la arquitectura los problemas de diseño presentaban un grado elevado de complejidad que no podía afrontarse con medios tradicionales, como la intuición y la experiencia. En *Notes on the Synthesis of Form* (1964), Alexander afirmaba: “*Today functional problems are becoming less simple all the time. But designers rarely confess their inability to solve them. Instead, when a designer does not understand a problem clearly enough to find the order it really calls for, he falls back on some arbitrarily chosen formal order. The problem, because of its complexity, remains unsolved*” (Alexander, 1964, pág. 1). Aunque esta apreciación recuerda a Le Corbusier cuando argumentaba que el problema de la vivienda moderna no había sido aún planteado, Alexander pensaba que no solo había que plantear el problema, sino también entenderlo para poder encontrar la solución: “*These notes describe a way of representing design problems which does make them easier to solve. It is a way of reducing the gap between the designer's small capacity and the great size of his task*” (Alexander, 1964, págs. 15-16). Básicamente, Alexander proponía representar un problema de diseño de tal manera que su solución estuviese en su representación.

Alexander criticaba la manera de trabajar de arquitectos como Mies van der Rohe y Le Corbusier, quienes no habían sido capaces de crear edificios funcionales, pues tales requisitos habían quedado subordinados a formas bellas, claras y organizadas: “*Mies Van der Rohe's Farnsworth house, though marvelously clear, and organized under the impulse of certain tight formal rules, is certainly not a triumph economically or from the point of view of the Illinois floods. Buckminster Fuller's geodesic domes have solved the weight problem of spanning space, but you can hardly put doors in them. [...] Even Le Corbusier in the Villa Savoie, for example, or in the Marseilles apartments, achieves his clarity of form at the expense of certain elementary comforts and conveniences. [...] What is true is that designers do often develop one part of a functional program at the expense of another*” (Alexander, 1964, págs. 28-29). Según Alexander, el planteamiento de los arquitectos modernos llevaba implícito una intencionalidad estética que impedía la creación de edificios funcionales. Por este motivo no podían afrontar la complejidad de requisitos a satisfacer por el edificio (problema). Esto solo podía conseguirse con un método de diseño para crear formas verdaderamente funcionales, es decir, un método capaz de revelar la forma que está implícita en la función.

2.2.1.2 Diseño como sistema

Alexander entendía el diseño como un sistema contexto-forma, donde el contexto era el problema y la forma su solución: “[...] *every design problem begins with an effort to achieve fitness between two entities: the form in question and its context. The form is the solution to the problem; the context defines the problem. The form is the solution to the problem; the context defines the problem*” (Alexander, 1964, pág. 15). El sistema forma-contexto había sido previamente planteado por los arquitectos del movimiento moderno, pero Alexander sostenía que las técnicas tradicionales usadas por estos arquitectos (*mental picture*) no daba lugar a edificios funcionales. De manera que la solución que ofrece Alexander es llegar a un meta-nivel (*formal pictures of mental pictures*) en el que se pueda abordar el problema y la solución en términos formales (Figura 22).⁷⁸ En este nivel superior se recurría a un lenguaje matemático para estructurar el problema de diseño, es decir para organizar los requisitos funcionales, y su relación con la forma. A diferencia de la representación tradicional, que proporcionaba información sobre las propiedades geométricas o visuales de un objeto (perspectiva, axonometría, etc.), el lenguaje matemático permitía representar las relaciones entre los requisitos funcionales y resolver los eventuales conflictos que surgieran de estas relaciones. Así, operando en este nivel de abstracción matemática, Alexander podía prescindir de la mediación del arquitecto, y con ella el valor estético de las ideas concebidas. Respecto a esto, Alexander afirmaba que: “*First of all, for physical forms, we know no general symbolic way of generating new alternatives –or rather, those alternatives which we can generate by varying the existing types do not exhibit the radically new organization that solutions to new design problems demand. These can only be created by invention*” (Alexander, 1964, pág. 74).

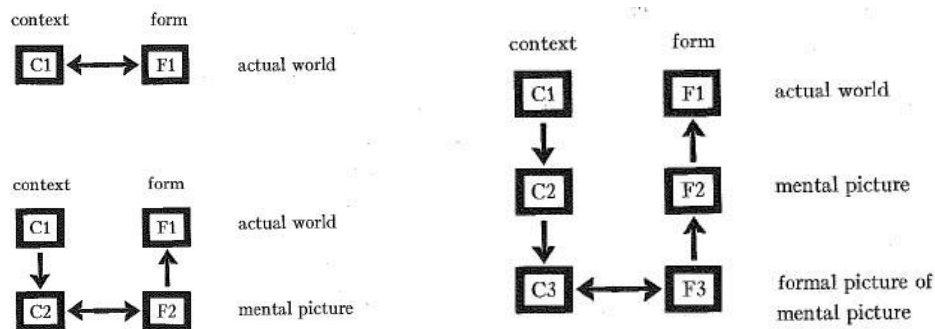


Figura 22. El primer esquema representa la cultura vernácula (*unselfconscious culture*), donde hay una relación directa entre contexto en la forma. El segundo esquema representa el proceso autoconsciente (*selfconscious culture*), donde la relación forma-función se representa por medio del dibujo. El tercer esquema (derecha) representa el nivel de abstracción o método de diseño, en el que la relación forma-función se representa formalmente o en un lenguaje matemático. Fuente: (Alexander, 1964).

⁷⁸ Madrazo afirma al respecto: “*Alexander, however, goes beyond pure theoretical speculation: he attempts to create an abstract model of the design process in which the relation form-function has been systematized according to certain mathematical procedures. In this regard Alexander, is operating at a higher level of abstraction than previous architectural theorists, since he tries to systematize the design process itself*” (Madrazo, 1995, págs. 346-347).

El método de diseño de Alexander se estructuraba en dos fases: el análisis de los requisitos funcionales (problema) y la síntesis de la forma (solución): “*Finding the right design program for a given problem is the first phase of the design process. It is, if we like, the analytical phase of the process. This first phase of the process must of course be followed by synthetic phase, in which a form is derived from the program. We shall call this synthetic phase the realization of the program*” (Alexander, 1964, pág. 84). El análisis de la función consistía en la descomposición de todos los requisitos (usando la terminología del análisis de sistemas, sub-problemas o variables de desajuste), mientras que la síntesis de la forma era un proceso de recomposición de todas las variables que daban cumplimiento a los requisitos (sub-soluciones). Una vez realizado un listado de requisitos (variables de desajuste), Alexander proponía el uso de un “algoritmo árbol” para ordenar jerárquicamente la relación de los componentes o requisitos funcionales, es decir el programa (*architectural programming*).⁷⁹ Las variables de desajuste individuales se agrupaban en una serie de subconjuntos que resolvían conflictos de incompatibilidad funcional entre variables (*clustering*).⁸⁰ El problema representado en cada subconjunto era representado en un diagrama a partir del cual habría de surgir la forma. Según Alexander, desde la estructura u organización de los requisitos funcionales se llegaba a la

⁷⁹ El término *programming* fue usado por Denis Thornley (1962) y Bruce Archer (1963) para definir una fase de organización y tratamiento de la información en contacto con el cliente (*briefing*). En su plan de trabajo (*plan of work*), el RIBA –*Royal Institute of British Architects*– separaba la etapa de *programming/briefing*, de las etapas de proyecto, construcción y uso (RIBA, 1963). Posteriormente, la definición del programa o programación se convirtió en una rama de la investigación independiente, definida como “programación arquitectónica”-*Architectural Programming* (AP). En su texto *Problem Seeking. An Architectural Programming Primer* (1969), William Peña, consideraba que el proyecto debía comenzar con la reunión, organización y análisis de la información para buscar el problema – *problem seeking* (Peña & Parshall, 1969). En su texto *Introduction to Architectural Programming* (1972), Edward White sostenía: “*The process of programming is composed basically of gathering, analyzing, evaluating, organizing and presenting information pertinent to the design problem*” (White, 1972, p. 15). Henry Sanoff en *Methods of Architectural Programming* (1977), consideraba la programación como un proceso que permite definir las directrices encaminadas a satisfacer las necesidades del usuario, el cliente, el diseñador o el promotor (Sanoff, 1977). En su texto *Architectural Programming. Information management for Design* (1993), Donna Duerk describe el programa como un proceso: “*It is gathering, organizing, analyzing, interpreting, and presenting of the information relevant to a design project. Mission, goals, concepts, and performance requirements are set of criteria that must be well-defined*” (Duerk, 1993). Al igual que Alexander, Duerk organiza las necesidades funcionales jerárquicamente en una estructura de árbol: la raíz es la declaración de la misión; la misión genera objetivos; los objetivos generan los requisitos de las prestaciones, y de estos se generan conceptos.

⁸⁰ El análisis de agrupamiento (*cluster analysis* o *clustering*) consiste en agrupar un conjunto de entidades de tal manera que los miembros de un mismo grupo (*cluster*) sean más similares entre sí (según un propósito u otro) que en relación con los objetos de otros grupos (*clusters*). Los orígenes del análisis de agrupación se remontan a la biología y la antropología de principios del siglo XIX. El término *cluster analysis*, sin embargo, fue acuñado por R.C. Tryon (1939) para referirse a la organización de tareas en las ciencias sociales y del comportamiento. Pero fue solo en 1960, gracias al desarrollo del ordenador, cuando el *cluster analysis*, tal como se entiende en la actualidad, empezó a aplicarse a otros campos de conocimiento. En sí mismo el *clustering* no es un algoritmo, sino una tarea general que se puede resolver por medio de diversos algoritmos (*clustering algorithms*). Christopher Alexander y Marvin Manheim desarrollaron un programa de descomposición del problema de diseño, llamado HIDECS – *Hierarchical Decomposition of a Set with an Associated Graph* –, que separaba los elementos de un problema dado y sus interacciones en forma árbol –HIDECS 2 (Alexander & Manheim, 1962)– o en semirretículo – HIDECS 3 (Alexander, 1963) –, además de establecer el orden en que se debían combinar los elementos de una solución dentro de una jerarquía. Aunque entre dos variables de un problema podían existir diversos grados de relación, el ordenador reconocía únicamente relaciones binarias, positivas o negativas. CLUSTER fue otro programa de clusterización desarrollado por Murray Milne (Milne, 1970).

estructura formal (Figura 23). Así, concluía que: “*My main task has been to show that there is a deep and important underlying structural correspondence between the pattern of a problem and the process of designing a physical form which answers that problem. I believe that the great architect has in the past always been aware of the patterned similarity of the problem and process, and that is only the sense of this similarity of structure that ever led him to the design of great form. [...] The shapes of mathematics are abstract, of course, and the shape of architecture concrete and human. But that difference is inessential. The crucial quality of shape, no matter of what kind, lies in its organization, and when we think of it this way we call it form*” (Alexander, 1964, pág. 132). En esta afirmación, sin embargo, subyacía el planteamiento del estructuralismo: Alexander admitía que había una estructura intrínseca en la demanda funcional o problema (*deep underlying structural correspondence between a problem and a physical form*), es decir, una forma que ya estaba contenida en la función. Esto contradecía la premisa según la cual era la función lo que determinaba la forma.⁸¹

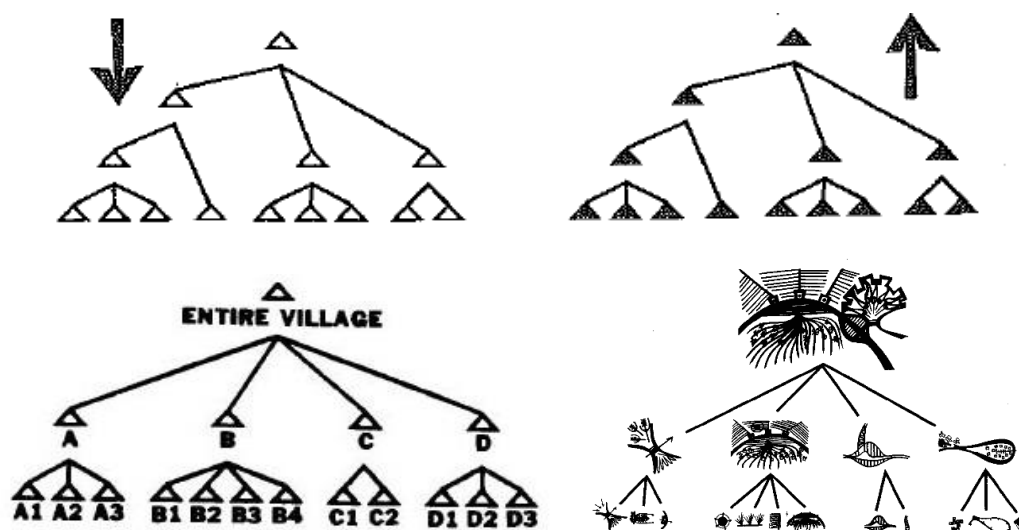


Figura 23. Método de diseño aplicado al caso de un poblado indio. Los requisitos funcionales se representan como una jerarquía de requisitos “hacia abajo” (*downward*). La forma se representa por medio de una jerarquía “hacia arriba” (*upward*), obtenida mediante la síntesis o recombinación de cada componente formal asociada a cada requisito funcional, desde los elementos más básicos hasta la forma completa. Fuente: (Alexander, 1964).

El método de Alexander presentaba otras contradicciones. Geoffrey Broadbent afirmaba que, pese a su supuesta objetividad, Alexander no explicaba cómo conseguir una lista completa, objetiva y correcta de requisitos funcionales, ni tampoco cómo

⁸¹ Con respecto a la relación entre forma y función planteada por Alexander, Madrazo argumenta: “*But, in spite of his attempt to undermine form, making it the mere consequence of function, Alexander's proposed theory does not succeed in getting completely rid of it. He argues, that a well-stated description of the functional demands that a design has to fulfill, already contains the pattern that will give rise to the form itself. But this means that the form is already in the function, thus questioning a basic premise of his theory, namely, that function determines form*” (Madrazo, 1995, pág. 348).

alcanzar la forma a partir de sus diagramas.⁸² Otra contradicción fue puesta en evidencia por Philipp Steadman, quien sostuvo que Alexander, pese a haber invocado la homeostasis (modelo cibernético basado en el *feedback*), en realidad mantenía la relación causal entre función y forma (modelo biológico).⁸³ Para ser fiel al modelo cibernético, Alexander debería haber considerado el nivel de abstracción (representación formal) como un espacio donde operar en términos de hipótesis y prueba, como un modelo cíclico de ajustes mutuos entre la forma y la función. Sin embargo, para Alexander la solución se podía deducir directamente del problema. De hecho, planteaba que la solución a un problema era la suma de soluciones parciales (sub-soluciones) a los sub-problemas, sin tener en cuenta que estos son en gran medida independientes. Así, una vez que se reunían las sub-soluciones en un conjunto, no se podía garantizar que esta nueva organización cumpliera con todos los objetivos del diseño.

2.2.1.3 Diseño como proceso

A diferencia de Alexander, otros investigadores del método de diseño, como John Christopher Jones y Thomas Markus, recurrieron a modelos simbólicos para verificar o evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos en las propuestas de diseño. John Christopher Jones describía el diseño como un proceso: en un extremo hay un input (el programa), y en el otro un output (la forma) y, entre ellos tienen lugar procesos, más o menos descriptibles, que constituyen el “diseñar”. De acuerdo con esto, Jones diferenció entre el diseño intuitivo, que no podía explicarse, y el diseño racional, que podía formalizarse por medio de una serie de actividades de análisis, síntesis y evaluación. Esta idea de diseño como proceso seriado y cíclico fue la base de la investigación de Thomas Markus, director del BPRU (*Building Performance Research Unit*), y Thomas Maver, del grupo ABACUS (*Architecture and Building Aids Computer Unit, Strathclyde*) de la University of Strathclyde (Glasgow). De acuerdo con el modelo cibernético, estos investigadores entendieron la creación de la forma en la arquitectura como un proceso de

⁸² En su texto *Design in Architecture* (1973), Broadbent afirma: “Naturalmente, existe la dificultad de que los distintos diseñadores identifiquen listas bastante diferentes de variables de desajuste. [...] Alexander rechazaba tales objeciones; según él, todos los diseñadores llegarían más pronto o más tarde a la misma lista, aunque el orden de importancia que atribuyesen a las diferentes variables diferiría según sus predilecciones personales. En mi opinión, esto es una esperanza piadosa que en la práctica puede no cumplirse” (Broadbent, 1976, pág. 266). Además, Broadbent sostiene: “[...] al pasar a una nueva etapa de abstracción, Alexander agravó el problema del despegue analógico en lugar de disminuirlo; y al dejar el diseño en esta etapa, en forma de diagramas abstractos, el método es de bastante menos ayuda que los métodos convencionales de diseño. [...] es más difícil aún traducir uno de los diagramas de Alexander a la forma de un edificio tridimensional, que traducir los otros tipos de diagramas que los arquitectos suelen usar, porque los diagramas deben traducirse a las formas tridimensionales a las que la gente acabará aplicando los viejos conceptos de ‘patio’, ‘jardín’, ‘dormitorio’, etc. Tanto si queremos como si no” (Broadbent, 1976, pág. 270).

⁸³ Respecto a esta posición, en su texto *The Evolution of Designs* (1979), Steadman llama la atención sobre una paradoja: “If Alexander had stuck more closely to the terms of his own biological, or rather cybernetic, analogy, then he would have avoided some (if not all) of these difficulties. He would have been obliged to regard the designed object and its ‘functional environment’ as logically inseparable and mutually defining – truly as an ‘ensemble’ in his own terms. And he would have been obliged to treat their (simulated) interaction as a proper feedback process, in which the (mental or ‘formal’) representation of some artefact would be brought into contact with the representation of its environment; its (theoretical) performance tested; both form and context altered as a result; more tests made; and so on round in a continuing cycle” (Steadman, 1979, pág. 195).

hipótesis y prueba (*feedback*). Maver afirmaba: “[...] *the design process is characterized by its iterative and cyclic character. It has vital feedback loops and demands that the task is repeated as often as necessary*” (Maver, 1970, pág. 195). El diseño se entendía como un bucle en el que las actividades de análisis y síntesis se retroalimentaban en un continuo proceso de evaluación (Figura 24). En este caso la evaluación tenía fines predictivos y se realizaba durante el proceso de diseño, a diferencia de la evaluación que se realiza una vez que el edificio está construido y operativo.

En sintonía con la metodología de diseño basado en prestaciones, Markus consideraba que para evaluar un diseño se precisaban criterios y datos cuantitativos sobre sus prestaciones, para así verificar su cumplimiento de manera objetiva, en lugar de hacerlo en base al juicio personal del arquitecto: “*Measurements and appraisal of performance is an evaluative activity consisting, as it does, of the applications of various evaluative yardsticks to design solutions. These evaluations enable alternative solutions to be ranked and, possibly, to be placed in relationship to a ‘best’ solution arrived at by analytical means*” (Markus, 1969). Básicamente, la evaluación proporcionaba información para elegir la mejor opción entre varias propuestas (optimización). Bajo este planteamiento, se estableció una distinción entre la “decisión de diseño” y el “juicio arquitectónico”, considerados comúnmente como sinónimos. Mientras que el juicio entraba en el ámbito de la subjetividad, la decisión de diseño se sustentaba en datos objetivos. De esta manera el proceso de creación de la forma derivaba en un proceso de toma de decisiones.

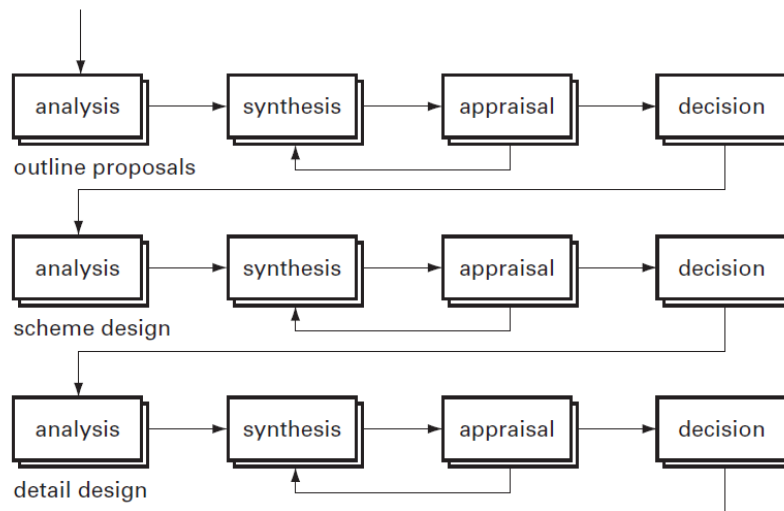


Figura 24. Representación del proceso de diseño según Thomas Markus. Las actividades de diseño se desarrollan según una progresión temporal –morfología del diseño– y una progresión cíclica –proceso de diseño–. Fuente: (Lawson, 1980).

Peter Collins criticó el planteamiento de Markus y en general la aplicación del método de diseño basado en prestaciones a la arquitectura, ya que se limitaba a valorar aspectos cuantitativos. En su libro *Architectural Judgement* (1971), Collins se preguntaba: “*Are mathematical criteria, of some kind or another, ever likely to be totally adequate to judge architectural quality? If not, is there any alternative to so-called ‘aesthetic’ criteria- to all the interchangeable epithets of art criticism derided by Viollet-le-Duc (whereby music is praised for its color, and painting for its rhythm) and to*

nebulous terms of architectural praise like 'crisp'? Can non-mathematical architectural judgments be intimately related to reason [...]?" (Collins, 1971, pág. 118). Collins cuestionaba que la arquitectura pudiese ser objeto de un juicio racional. Asimismo, sostenía que no se debería descartar la posibilidad de que también los criterios estéticos, que eran fundamentales para la evaluación de la arquitectura, pudiesen conducir a un tipo de juicio racional.

2.2.1.4 El fracaso del método de diseño

Una premisa esencial del método de diseño era que la intuición del arquitecto no es suficiente para afrontar la complejidad de un programa funcional. Siguiendo un estricto planteamiento funcionalista, los métodos de diseño buscaban establecer una relación directa entre el análisis y la síntesis. Pero, precisamente en esta pretensión de superar las limitaciones del arquitecto, se encuentran las razones de su fracaso.

Los métodos de diseño planteaban que la forma (solución) surgía de la demanda funcional (problema), sin discontinuidad: una vez identificados los componentes del problema en un programa (análisis), estos se procesaban para dar lugar a la forma (síntesis). Así, aplicando un método de diseño que negaba el valor a la imagen preconcebida y los valores estéticos, podían obtenerse edificios funcionales. Pero la transformación de un problema en una solución no puede ser tan determinista, porque no existe una relación directa entre requisitos funcionales y forma, ni puede existir. El problema y la solución son dos universos distintos, cada uno descrito en un lenguaje propio, y, por tanto, difíciles de conjuntar. La experiencia del movimiento moderno ya demostró la imposibilidad de un funcionalismo estricto, y que la arquitectura no podía desvincularse de las cuestiones estéticas y simbólicas. Los edificios del funcionalismo moderno, de hecho, resultaron funcionales solo desde el punto de vista estético. Luego, arquitectos como Aldo Rossi y Peter Eisenman contribuyeron a demostrar que la forma nace en un mundo que le es propio, el de las asociaciones con otras formas e ideas, el de la creatividad individual.

Estos temas se debatieron en el *Portsmouth Symposium on Design Methods in Architecture* (1967), en el que se cuestionó explícitamente el planteamiento del método de diseño, y del diseño basado en prestaciones en particular. Esta conferencia dio lugar a un debate entre un frente racionalista –*behaviourists* –, representado por John Luckman, Sidney Gregory, John Christopher Jones, Thomas Markus y Christopher Alexander, quien no participó en la conferencia, aunque sus teorías sí estuvieron presentes, y otro que refutaba un planteamiento estrictamente racional del diseño –*existentialist/phenomenologist*– representado por Amos Rapoport y Anthony Ward (Ward, 1969, pág. 10). Ward defendía que el diseño en la arquitectura no se podía asimilar a la lógica de diseño aplicable en otros ámbitos: *"It is my own contention that the logical act of designing an environment for another human being is qualitatively different from the logical act of designing a machine part, because it involves an element of 'reciprocating choice' between the designer and the Other. There is at present no language for describing this relationship, so it has never been studied, and cannot be said to be identical to the designer's relationship to the inanimate world"* (Ward, 1969, págs. 12-13). Según Ward, faltaba un lenguaje capaz de explicar la relación entre la organización

del problema y su solución en términos arquitectónicos, es decir, en edificios que tenían que ser habitados, en contraposición a otros objetos.

Rapoport criticaba los métodos de diseño por ocuparse de encontrar soluciones innovadoras: *“Most methods assume, as an implicit value, that the constant innovation is the goal – that each problem is new and to be solved from first principles. This is not necessarily the case. Each solution is not a considerable departure from existing designs. Each problem is not new –there are the force of history, tradition, the constant element in man’s needs, and many others. [...] The value of traditional solutions is, I think, greatly underestimated. Such solutions may tell us much. Often when we ignore tradition we are throwing away thousands of years’ experience – ‘facts’ are very valuable ones. This experience represents many multi-variable experiments in real life situations”* (Rapoport, 1969, pág. 136). Básicamente, Rapoport sostenía que soluciones existentes podían resolver problemas de diseño nuevos, pero parecidos, ya que se habían ensayado y experimentado previamente. Además, por su planteamiento abstracto, los métodos de diseño tendían a considerar algunos criterios, como la proximidad de áreas funcionales o la circulación, más importantes que otros, solo por el hecho de que eran cuantificables y por tanto podían procesarse en un ordenador. Sin embargo, si se consideraba el edificio como una realidad física, y no como una abstracción, había que tener en cuenta otros factores, que no son medibles porque están sujetos a la percepción, al juicio y a los valores. De hecho, Rapoport afirmaba que el diseño en arquitectura está vinculado a la realidad construida y es ahí donde han de surgir las soluciones: *“When we speak of design we are therefore speaking of the organization of space in the physical environment. It is thus necessary to discuss how space is organized, who organizes it and for what reasons, and how a given organization is perceived by, and affects, people”* (Rapoport, 1969, pág. 136). Rapoport seguía razonando que la percepción de la realidad construida era un proceso basado en la asociación de símbolos: *“Man tends to symbolize everything and then react to the symbols as though they were the environmental stimuli. [...] These symbols and meaning are results of people’s images, which include both logical and non-logical values which affect man’s view of, and behavior in, the world. [...] Aspects of these images, symbols, associations, and world view all enter into the make-up of the environment, as well as physical components”* (Rapoport, 1969, pág. 137). Siendo el edificio un conjunto que abarca lo material y lo simbólico, el arquitecto no se podía limitar a la organización de sus componentes, eludiendo su significado como conjunto. Así, Rapoport sentenciaba que: *“The diagram and relationships are still very far from being a building –it is a long way from diagram to an environment. In much of the discussion on method, the quality of the architecture is not discussed at all. The methodology seems to become an end itself”* (Rapoport, 1969, pág. 146). Para Rapoport un diagrama, que era el resultado de la aplicación de un método de diseño, no podía asimilarse a un edificio.

En el mismo año en que se celebraba el *Portsmouth Symposium*, Alan Colquhoun reconsideraba la importancia de los métodos tradicionales de diseño, rescatando el concepto de tipo como origen de la forma. En su texto *“Typology and Design Method”* (1967), Colquhoun afirmaba: *“[...] many people believe –not without reason– that the intuitive methods of design traditionally used by architects are incapable of dealing with the complexity of the problems to be solved and that without sharper tools of analysis and*

classification the designer tends to fall back on previous examples for the solution of new problems-on type solutions. [...] in case where it was not possible to classify every observable activity in an architectural program, it might be necessary to use a typology of architectural forms in order to arrive at a solution” (Colquhoun, 1967, pág. 11). Según Colquhoun, era necesario recurrir al tipo o la imagen preconcebida, pero no debía entenderse como el fruto de la inspiración mística del arquitecto, sino como la expresión de un conocimiento construido empíricamente a partir de la aplicación de soluciones del pasado (*type solutions*) a los problemas del presente.⁸⁴

Estas críticas condujeron a un rechazo generalizado de los métodos de diseño. El propio Alexander llegó a afirmar: “*I’ve disassociated myself from the field. There is so little in what is called ‘design methods’ that has anything useful to say about how to design buildings that I never even read the literature anymore. I would say forget it, forget the whole thing*” (Alexander, 1971). Incluso John Christopher Jones, uno de los primeros divulgadores de estos métodos, escribió: “*In the 1970s I reacted against design methods. I dislike the machine language, the behaviourism, the continual attempt to fix the whole of life into a logical framework*” (Jones, 1977). En las décadas de 1970 y 1980, en lugar de adaptar el proceso de diseño al potencial del ordenador, la investigación en torno al diseño se centró en comprender, representar y formalizar el proceso creativo de manera que pudiera reproducirse con el ordenador.

2.2.2 El método generativo: reproducir el diseño en el ordenador

La noción de diseño como solución de problemas está estrechamente vinculada al uso del ordenador como soporte del diseño. El CAD (*Computer-aided Design*), tuvo su origen en los años 1960, con las primeras aplicaciones de representación gráfica (*Sketchpad*).⁸⁵ La influencia de la investigación operativa y la cibernética impulsó a su vez la idea de asistir al diseñador en el proceso de toma de decisiones, reproduciendo el diseño por medio del ordenador. Rápidamente estas dos líneas de investigación – el uso del ordenador para la representación gráfica (dibujo) y la reproducción del proceso de creación (diseño)–

⁸⁴ A partir de una afirmación de Tomás Maldonado, Colquhoun concluía que: “[...] *the area of pure intuition must be based on a knowledge of past solutions applied to related problems, and that creation is a process of adapting forms derived either from past needs or from past aesthetic ideologies to needs of the present*” (Colquhoun, 1967, pág. 13). Al igual que Alexander, Maldonado creía que los métodos basados en la intuición no eran capaces de resolver la complejidad de un problema de diseño. Sin embargo, durante un seminario en Princeton University (1966), admitió que cuando no se daba la posibilidad de clasificar cada actividad dentro del programa, se recurría al uso del tipo para llegar a una solución. Si bien las formas derivadas de la tipología –*type solution*– eran como un “cáncer en el cuerpo de la solución” que podía ser eliminado una vez que se mejoraran las técnicas analíticas, Maldonado estaba admitiendo indirectamente que el uso del tipo era aún necesario.

⁸⁵ El término diseño asistido por ordenador (*Computer-aided Design*, CAD) fue acuñado por Douglas Ross y Dwight Baumann en 1959 para describir una línea de investigación del MIT (Massachusetts Institute of Technology) que utilizaba el ordenador para la representación de partes mecánicas de automóviles o aviones (*Computer-Aided Design Project*). Uno de los hitos en el desarrollo del CAD fue el sistema *Sketchpad* (1963), que fue el objeto de la tesis doctoral de Ivan Sutherland. *Sketchpad* anticipó muchas características de los sistemas CAD que se han desarrollado durante los últimos 50 años: tenía la primera interfaz gráfica de usuario; permitía tanto la reproducción gráfica en 2D, e incluso el modelado 3D; permitía simular las prestaciones de un diseño, como el comportamiento de estructuras, o la predicción de flujos de corriente a través de circuitos eléctricos.

encontraron su camino en la arquitectura, dando lugar a un nuevo ámbito, el CAAD (*Computer-aided Architectural Design*).⁸⁶

La aplicación del ordenador en el diseño de edificios fue el tema del libro *Computer-aided Architectural Design* (1977), en el que William Mitchell sostenía que la creación de la forma debía entenderse como un tipo especial de resolución de problemas: “*If the goal of a problem-solver is to obtain some existing tangible object such as a pen, then problem-solving involves first obtaining an appropriate candidate object, and secondly verifying that it matches the given goal description. But if the goal to obtain something that is as yet non-existent, such as the proof of a theorem, or the design for a building, then the question of potential solutions may be produced for consideration arises*” (Mitchell, 1977, pág. 29). Mitchell afirmaba que la dificultad para entender el diseño como resolución de problemas residía en la necesidad de generar previamente una propuesta de diseño para luego poder verificar si ésta solucionaba el problema. Así, sostenía que un aspecto fundamental en arquitectura, o en cualquier campo que implicara la búsqueda de una solución nueva a un problema específico, era la generación de una variedad de posibles propuestas, y esto podía lograrse por medio del ordenador.

Los primeros métodos computacionales para la generación de la forma en la década de 1970 se ocuparon de la distribución automática de espacios. Algunos de estos métodos, que fueron concebidos bajo la influencia del paradigma funcionalista en el movimiento de los métodos de diseño (*design methods movement*), empleaban las técnicas de la investigación operativa, como la programación lineal y cuadrática, para realizar procedimientos de búsqueda basados en la optimización. Paralelamente, se desarrollaron otros métodos generativos basados en la aplicación de reglas (*rule-based methods*) o tipos (*prototype-based methods*), que no garantizaban una solución óptima, pero permitían generar formas a partir de otras existentes. De hecho, la lógica de diseño que subyacía en estos métodos se remonta al método de composición de Durand (diseño sintáctico), como asimismo a métodos basados en el uso de soluciones formales ensayadas y aceptadas (diseño tipológico).⁸⁷ Los métodos generativos basados en reglas

⁸⁶ John Dawson, con su artículo “The Computer in Building Design” (Dawson, 1961), y John Eberhard, con su texto “A Computer-Based Building Process: Its Potentials for Architecture” (Eberhard, 1962), fueron unos de los primeros en debatir las ventajas del uso del ordenador en arquitectura. El desarrollo de sistemas específicos para el proyecto de edificios se convirtió en el campo de investigación del ABACUS (*Architecture and Building Aids Computer Unit*, Strathclyde) y del *Design Research Laboratory*, UMIST (*The University of Manchester Institute of Science and Technology*), que publicaba de forma periódica sus resultados en el BOCAAD “Bulletin of Computer Aided Architectural Design” (1969-1983). Kaiman Lee definió el CAAD como los estudios sobre la aplicación del ordenador para asistir la planificación y estructuración del programa arquitectónico (Lee, 1973). En esa misma época se investigó la posibilidad de reproducir el proceso de proyectar por medio del ordenador. Esto fue el objetivo de centros de investigación como el LUBFS (*Center for Land Use and Built Form Studies*), fundado en 1967 por Leslie Martin en Cambridge, y el CCS (*Center for Configurational Studies*), creado en el mismo año por Lionel March en Milton Keynes.

⁸⁷ En su libro *Design in Architecture* (1973), Geoffrey Broadbent sintetizaba los diversos modos en que había sido concebida la forma en la historia de la arquitectura, en orden cronológico: diseño pragmático, diseño tipológico, diseño analógico y diseño sintáctico. El diseño pragmático recurre a la prueba material (*trial-error*); el diseño tipológico se basa en el uso de soluciones-tipo; el diseño analógico recurre a formas que tienen origen en campos ajenos a la arquitectura (metáfora), o a las obras de otros arquitectos; y, por último, el diseño sintáctico utiliza reglas no necesariamente geométricas. Pese a que la organización de las diversas maneras de concebir la forma en la arquitectura obedecía a un desarrollo histórico, según Broadbent todas ellas seguían vigentes como estrategias para la definición de la forma.

o tipos (*shape grammars, prototype-based method*) podían recurrir al conocimiento de los expertos para formalizarlo (*expert systems*), o extraían reglas de un conjunto de preexistencias (*precedent-based methods*).

Los métodos evolutivos (*evolutionary methods*) estuvieron inspirados en ciertos procesos no-lineales y no-deterministas de la naturaleza (crecimiento, reproducción y selección). Estos métodos permitían la exploración de formas inesperadas, tanto por su apariencia como por la manera en que solucionaban un problema específico. Todos estos métodos se basaron en la idea de creación como combinación de formas preexistentes (*puzzle-making*).⁸⁸

2.2.2.1 Diseño como síntesis

El primer objetivo de la automatización del diseño fue la distribución o síntesis espacial. Con este propósito se desarrollaron métodos (*space allocation methods, automated spatial synthesis, automated floor plan generation*) que aplicaban las técnicas de la investigación operativa y la programación matemática (programación cuadrática, lineal, etc.), basándose en procedimientos de búsqueda de la distribución óptima y en la satisfacción de restricciones (*constraint satisfaction*).

El método de asignación de espacios (*space allocation method*) describe el problema de distribuir de manera óptima diversos recintos teniendo en cuenta las adyacencias entre ellos, ya sean por razones funcionales, higiénicas, acústicas, psicológicas o de circulación. El procedimiento se basa en la elaboración de una matriz de adyacencia, una tabla que asigna el grado de proximidad deseado entre los diferentes recintos representados por símbolos (Figura 25). A partir de estos datos, el algoritmo de asignación cuadrática busca la organización espacial que minimiza la distancia o circulación entre espacios que deberían estar más próximos.⁸⁹ La distribución de los espacios se obtiene en base a un proceso de permutación (*permutation-based approach*), o un proceso aditivo (*additive space allocation*). En el primer caso (Figura 26), la distribución espacial inicial es aleatoria; el algoritmo intercambia la posición de algunos espacios y recalcula el valor asociado a la distribución, hasta converger en la solución óptima. En el segundo caso (Figura 26), se ubica el espacio con más conexiones en el centro de una retícula y, a continuación, se disponen los espacios que mantienen relaciones de proximidad con éste, y así sucesivamente hasta que el algoritmo redistribuye

⁸⁸ El término *puzzle-making* fue introducido por Van der Ryn, quien consideraba el proceso de resolución de problemas complejos como un *puzzle*: “*The special skill the designer must have is to discover problems and their conceptual solutions*” (Van der Ryn, 1966, pág. 38). Luego, John Archea lo empleó para describir una forma paradigmática de diseño que era antitética a la resolución de problemas. Archea afirmaba: “*Instead of specifying what they are trying to accomplish independently of and prior to their attempts to accomplish it, as problem-solvers do, architects treat design as a search for the most appropriate effects that can be attained in specific spatio-temporal context which are in virtually all aspects ‘unique’*. A key point of demarcation between *puzzle-making* and *problem-solving* is the former’s over-riding emphasis on *uniqueness*” (Archea, 1987, pág. 37). Archea reconocía que en la arquitectura no se trata de responder a un problema tal como se plantea, sino ante todo dar un sentido al problema. En otras palabras, Archea estaba de acuerdo en que los arquitectos no solo no resuelven problemas, sino que pueden incluso crearlos.

⁸⁹ La minimización de la distancia entre espacios se formaliza mediante la siguiente ecuación o modelo matemático: $\min V = \sum W_{ij} D_{ij}$, donde V es el valor de la organización espacial, ij son la pareja de espacio o actividades, W es el peso o la importancia de proximidad obtenida por medio de la matriz de interacción y D es la distancia entre los dos espacios.

los espacios de manera que el valor total de la organización (la suma de las distancias ponderadas entre los espacios) se minimiza. El resultado de este método no es una planta, sino un mapa o diagrama que describe la ubicación de los diversos espacios organizados según los criterios de adyacencia.

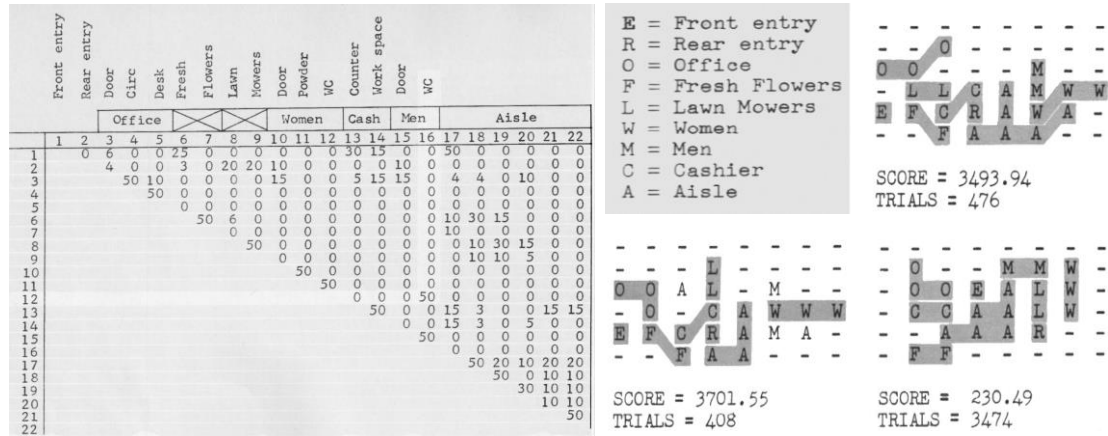


Figura 25. Aplicación del método de asignación de espacios de una tienda (floristería). Izquierda: matriz de adyacencia entre espacios (0 indica que no es deseable una relación directa entre los dos espacios, y 50 que deben estar inmediatos). Derecha: diagramas con la puntuación de las diversas organizaciones espaciales. Fuente: (Rowan, 1967).

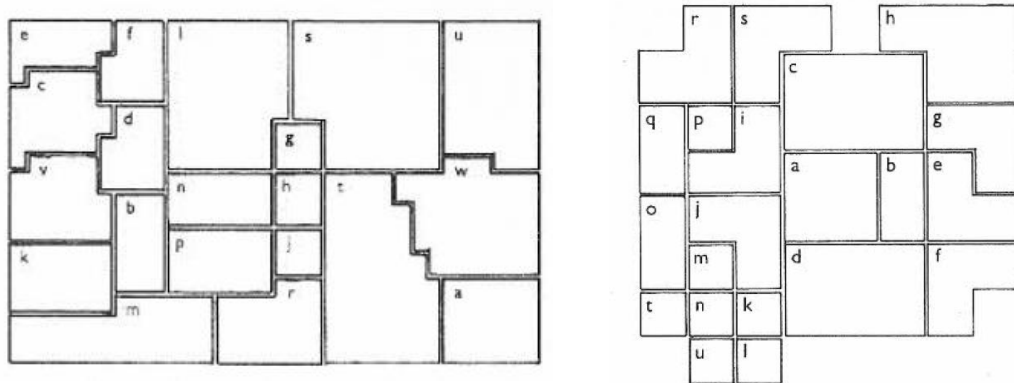


Figura 26. Izquierda: asignación de espacios por medio de un algoritmo de permutación (Armour y Buffa, 1963). Derecha: asignación de espacios en un hospital por medio de un algoritmo aditivo (Whitehead y Eldars, 1964). Fuente: (March, 1976).

Philip Steadman criticó estos métodos de síntesis espacial porque buscaban la solución óptima basándose en un único criterio.⁹⁰ Por el contrario, el método de

⁹⁰ Philip Steadman identificó algunos problemas de los métodos de síntesis espacial: “Typically, surveys were made of movement patterns in existing buildings of the relevant type, to give numbers of journeys between rooms of specified function. Various systematic methods were then deployed for assembling and rearranging spaces so as to minimise total travel. There were three major problems. First was the questionable assumption that the patterns of trips observed in existing buildings would be reproduced in new buildings with different layouts. Arguably, geometry and movement are interdependent rather than independent of each other. Second, because of the goal of minimising movement, the methods tended to produce deep concentric plans clustered around the most highly connected spaces. Third, and most important, was the fact that a single criterion of performance was used to generate designs. Subsequent work tried to introduce constraints related to other considerations such as lighting and orientation, and

satisfacción de restricciones (*constraint satisfaction*) buscaba optimizar la distribución espacial en base a diversos criterios, como la iluminación y el emplazamiento, y no solamente atender a la adyacencia entre espacios. Este método conlleva añadir restricciones a un algoritmo que genera de manera aleatoria diversas configuraciones espaciales. Generalmente para estos tipos de problemas multicriterio se ha recurrido a la programación lineal. Pero en el caso de criterios conflictivos se procede en aproximaciones sucesivas, verificando en cada paso una propuesta de diseño en relación a un solo criterio, para obtener así una solución capaz de cumplir con la mayoría de los criterios. Este proceso podía considerarse como una forma especial de optimización. Este método se empleó en el General Space Planner (GSP), desarrollado por Charles Eastman en la Carnegie-Mellon University (Eastman, 1971). Sin embargo, este método asumía que el diseño era un proceso susceptible de ser formulado y resuelto como un problema matemático, un planteamiento estrictamente funcionalista que estaba expuesto a las mismas críticas que el método de diseño.

2.2.2.2 Diseño basado en reglas

En su texto *Architectural morphology. An introduction to the geometry of building plans* (1983), Philip Steadman afirmaba: “[...] *design is, always has been, and always will be concerned at its central core with the manipulation of ‘form’, with ‘composition’*” (Steadman, 1983, pág. 2). Steadman estaba desarrollando un formalismo –*rectangular arrangements*– que generaba distribuciones espaciales basada en las particiones de un rectángulo –*rectangular dissections* (Steadman, 1976)–. Los rectángulos representaban las habitaciones de un apartamento, cuya forma también era rectangular. Luego, en colaboración con William Mitchell y Robin Liggett, Steadman implementó unos algoritmos para producir el listado de “todos” los posibles rectángulos en los que podía dividirse una planta rectangular, teniendo en cuenta unos límites de tamaño y unas condiciones de adyacencia entre las habitaciones (Figura 27). Esencialmente, Steadman, Mitchell y Liggett aplicaron el método de enumeración exhaustiva a la organización en planta de un tipo de vivienda. Aunque guardaba un cierto parecido con los métodos de síntesis espacial (sobre todo, las restricciones de naturaleza topológica), el método propuesto por Steadman (*exhaustive enumeration of rectangular arrangements*), no estaba dirigido a la búsqueda de una solución. De hecho, tenía por objetivo generar todas las organizaciones espaciales que cumplieran con unos límites predefinidos, entre las cuales el arquitecto podía elegir. Sobre esto, Steadman afirmaba: “*The important point is that this approach did not search for some single supposedly ‘optimal solution’. On the contrary, it laid out entire fields of possibility within which architects have free rein. Should they elect to confine themselves to a rectangular geometric discipline of this kind, however, they have no other choices*” (Steadman, 2014, pág. 27). Posteriormente, Ulrich Flemming desarrolló un programa más avanzado, DIS (*dissection*), para implementar el formalismo de Steadman (Figura 27).

such efforts continue today. But the tools have rarely, if ever, been taken up in practice” (Steadman, 1979, pág. 26).

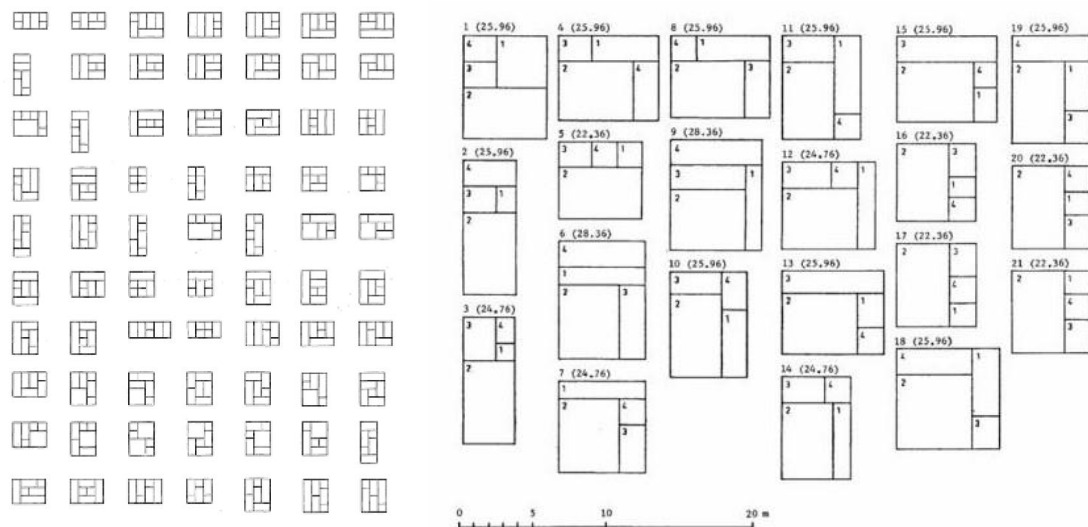


Figura 27. Izquierda: listado de *rectangular dissections*. Fuente: (Mitchell, Steadman, & Liggett, 1976). Derecha: enumeración exhaustiva de espacios en planta generada por el programa DIS en base a criterios de limitación dimensional de los diversos recintos y el grado de adyacencia entre ellos. Fuente: (Flemming, 1978).

Otros métodos generativos surgieron del paralelismo entre la arquitectura y la lingüística. La noción de gramática generativa fue propuesta inicialmente en el ámbito de la lingüística por Noam Chomsky, y llevada a la arquitectura por Peter Eisenman, quien la aplicó en el análisis de las obras de otros arquitectos, entre ellos Le Corbusier, Alvar Aalto, Frank Lloyd Wright y Giuseppe Terragni. Luego Eisenman aplicó el mecanismo de la gramática generativa en sus propias obras. Sin embargo, la formalización de un método de diseño basado en la gramática generativa debe atribuirse a George Stiny y James Gips, quienes introdujeron la noción de gramática de forma o gramática formal (*shape grammars*). En el artículo “Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture” (1972), Stiny y Gips afirmaban: “A *shape* is generated from a *shape grammar* by beginning with the initial shape and recursively applying the *shape rules*. The result of applying a *shape rule* to a given shape is another shape” (Stiny & Gips, 1972, pág. 128). Las *shape grammars* proporcionaban al mismo tiempo un mecanismo de análisis y de generación. Se basaban en la aplicación recursiva de un conjunto de reglas de transformación geométrica (adición, sustracción, translación, rotación, etc.) a unas figuras, símbolos o elementos geométricos (punto, línea, superficie, volumen) para obtener un número infinito de figuras complejas a partir de una figura inicial simple, o bien nuevas figuras inesperadas (emergentes) todas ellas pertenecientes a un mismo lenguaje formal. Tal como afirmaba Mitchell: “Once a grammar has been defined, a computer can be employed to generate forms in the corresponding language” (Mitchell, 1977, pág. 437).

Las *shape grammars* se han aplicado y se siguen aplicando a la arquitectura para analizar obras existentes y luego extrapolar sus reglas con el fin de generar nuevas formas (Figura 28). Utilizando las reglas formales extraídas de precedentes, se pueden crear nuevas formas que pertenecen a la misma familia, es decir al mismo estilo. Las *shape grammars* se han empleado para analizar el lenguaje de villas de Palladio (Stiny &

Mitchell, 1978), las Prairie Houses de Frank Lloyd Wright (Koning & Eizenberg, 1981), la Casa Giuliani Frigerio (Flemming, 1987). En cada caso de estudio se ha codificado un lenguaje específico en reglas que se aplican para generar ejemplares del mismo estilo (por ejemplo, la generación de plantas “palladianas”). En la actualidad, este tipo de generación formal continúa con el trabajo de José Duarte, quien se ha ocupado de analizar el lenguaje formal de las obras de Álvaro Siza.

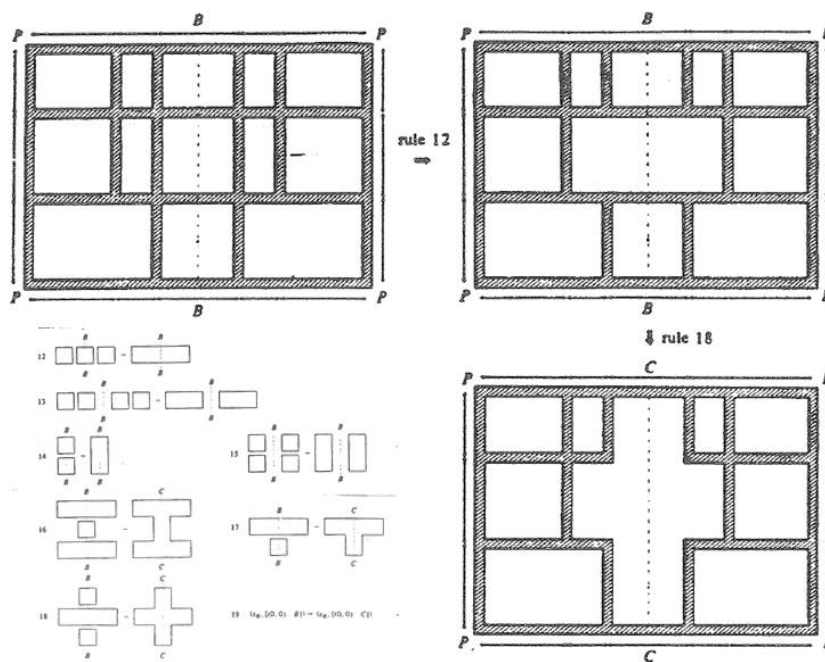


Figura 28. Generación de la distribución de habitaciones para la Villa Malcontenta de Palladio, George Stiny y William Mitchell. Fuente: (Stiny & Mitchell, 1978).

Mitchell afirmaba en el artículo “Vitruvius Computatus” (1973), que los métodos computacionales basados en la combinación de elementos de un vocabulario recordaban los métodos de composición de la tradición arquitectónica: “[...] *the notions of architectural form which implicitly underlie much of the emergent theory of computer-aided design may be most usefully viewed as a direct continuation of the classical academic tradition of elementary composition.* [...] *In other words, forms were conceptualized combinatorially. They were seen as compositions constructed from limited sets of fundamental, elementary components. The development and formalization of a similar concept of elementary composition in architecture may be traced from Vitruvius’ discussion of the orders through Renaissance theorists such as Alberti and Serlio to its first fully systematic expression in the pages of J.N.L. Durand’s famous *Precis* (1802)*” (Mitchell, 1973, pág. 384). Este nexo entre el corpus de la teoría de la arquitectura y el nuevo ámbito del CAAD llevó a entender el método no solo como un mecanismo generativo, sino también como una manera de hacer explícito el “conocimiento de la arquitectura”. Al igual que los tratados de Alberti, Vignola o Palladio incluían reglas para componer edificios partiendo de un lenguaje clásico, las *shape grammars* se entendieron como un mecanismo para extrapolar, codificar y reutilizar el conocimiento/lenguaje

implícito en los edificios.⁹¹ Este conocimiento, una vez sistematizado, debía permitir generar la forma con ayuda del ordenador, adaptando soluciones previamente ensayadas (prototipo) a un problema similar.⁹²

2.2.2.3 Diseño como aplicación de tipos

El ordenador no solo permitía ejecutar unas reglas de transformación, sino también almacenar elementos o componentes, para ser recuperados y aplicarlos a un problema de diseño. Esta lógica de diseño está implícita en la noción de “variaciones” sobre la que se asientan una clase de programas de “diseño paramétrico” desarrollados en el ámbito de la ingeniería industrial.⁹³ Por definición, un parámetro es una constante cuyos valores

⁹¹ Diversos autores no estaban de acuerdo con el paralelismo entre la arquitectura y la lingüística sobre el cual se fundamentaban las *shape grammars*. En su artículo “Grammatical Architecture?” (1992), Aaron Fleisher afirmaba: “*Shape grammars are presumed to represent knowledge of architectural form [...] the hypothesis requires that an architectural form be equivalent to a grammar [...] the notion that knowledge of architectural form is representable by grammars is also a hypothesis*” (Fleisher, 1992, págs. 221-222). Posteriormente, Ulrich Flemming defendió el planteamiento de las *shape grammars*, sosteniendo que la etiqueta de “gramática” se había adherido a estos mecanismos por su origen en la gramática generativa de Chomsky, pero no debía entenderse en su significado literal: “[...] *the ‘grammar’ part in shape grammars is to be understood in a purely technical sense; no analogies, legitimate or not, are implied*” (Flemming, 1994, pág. 7).

⁹² En su artículo “20 Years of Scripted Space” (2006), Malcolm McCullough afirma: “*Theoretically, grammars were a powerful way beyond this towards substitutions and subdivisions in articulating form. It was expected that these could become very practical expert assistants on well-formed classes of design problems. Unfortunately, the level of codification was high. Early applications operated within very specific architectural motifs, the most famous example of which was Wrightian Prairie-style houses. Even for applications in rote architectural production – say, laying out a set of hotel rooms – these better formal structures had less ready application to everyday architectural problem-solving. The more accessible next step in knowledge representation was instead a dimensionally driven approach that became known simply as ‘parametrics’. This is mainly a matter of expressing design problems or, more specifically, formal types, computationally in terms of a short set of independent design variables, especially dimensions. From the values of these few independent dimensions, software can derive a particular instance in that type of form. The essence of the type is implied in the parameterisation*” (McCullough, 2006, pág. 13).

⁹³ La noción “diseño paramétrico” fue empleada por William Spillers en el campo de la ingeniería de estructuras para describir la optimización estructural o mecánica de componentes mediante el ajuste de sus parámetros dimensionales. En su artículo “Some Problems of Structural Design” (1974), Spillers afirmó: “*This type of design problem will be referred to here as parametric design when the configuration is given and bar areas (certain parameters) are to be determined*” (Spillers, 1974). El primer programa de diseño basado en lógica paramétrica, Sketchpad (1963), fue desarrollado por Ivan Sutherland. En este programa, un diseñador podía dibujar líneas y arcos usando un lápiz óptico. Las figuras así dibujadas se relacionaban entre sí a través de restricciones (*atomic constraints*). Sutherland no utilizó el término paramétrico en sus tesis (Sutherland, 1963), pero las “restricciones atómicas” tenían todas las propiedades esenciales de una ecuación paramétrica; cada limitación o restricción se expresaba como una función explícita de una serie de parámetros independientes. De hecho, uno de los primeros sistemas basados en la geometría variacional (*variational geometry*), en un entorno de modelado tridimensional, se basaba en el trabajo de Sutherland (Lin, Gossard, & Light, 1981). En 1988, la compañía Parametric Technology Corporation (*PTC Corporation*), fundada por el matemático Samuel Geisberg en 1985, realizó el primer programa comercial de modelación paramétrica (*Pro/ENGINEER*), conocido como *Creo Elements/Pro*. Los actuales programas de modelado paramétrico permiten una representación abstracta de figuras por medio de ecuaciones, o modelo paramétrico. Un modelo paramétrico es una representación abstracta de un sistema en el que algunos elementos tienen unos atributos fijos o explícitos y otros variables. Los atributos explícitos devienen en variables por medio de la “parametrización”, un proceso que establece los componentes del modelo que pueden variar y el tipo de variación. Las variables también pueden estar limitadas por un rango de valores; pueden ser independientes, si están asociadas a un valor, o dependientes, cuando su valor depende de otras entidades del modelo. La modelación paramétrica es el proceso que permite convertir una representación geométrica en un sistema con componentes y atributos parametrizados.

varían en el contexto de su aplicación.⁹⁴ El diseño paramétrico, por tanto, sería el resultado de asignar valores a los parámetros de un esquema genérico (estado genérico), de manera que éste pueda adaptarse a una condición específica (estado específico). En otras palabras, el diseño paramétrico permite derivar una forma específica a partir de un esquema genérico previamente parametrizado. Además, cambiando los valores de los parámetros se pueden generar formas que preserven ciertas características del esquema general, como el número de componentes y sus relaciones.

Aunque hacía referencia explícita a la lingüística, el “lenguaje de patrones” de Alexander se fundamentaba en la lógica del diseño paramétrico.⁹⁵ El patrón es el dispositivo que permitía a Alexander superar el dilema función-forma: el patrón representaba al mismo tiempo un problema (función) y su solución (forma). Alexander mantenía: “*Each pattern describes a problem which occurs over and over again in our environment, and then describes the core of solution to that problem, in such a way that you can use this solution a million times over, without ever doing it the same way twice*” (Alexander, 1977, pág. X). El patrón, por tanto, es la expresión de una función que contiene en sí misma la forma; la expresión de principios generales extraídos y codificados en forma de reglas, que pueden reusarse para solucionar problemas similares que se repiten.⁹⁶ Un conjunto de patrones, por tanto, constituye un lenguaje formal, es decir un conjunto de símbolos y reglas a partir del cual pueden generarse una infinita variedad de formas dotadas de sentido, como sucede en los lenguajes naturales. La propiedad fundamental de los patrones, sin embargo, radica en la reutilización. Por ello, Alexander extrajo cada patrón de su contexto original, generalizándolo para que pudiera aplicarse a un problema de diseño general (estado genérico) en un contexto particular (estado específico).⁹⁷ Esto significa que el patrón adquiriría un carácter marcadamente abstracto, acercándose a la idea de prototipo. De hecho, los patrones de Alexander, mantienen viva una tensión entre una posición immanente y una posición trascendente,

⁹⁴ El término “paramétrico” viene de las matemáticas y se refiere a un grupo de ecuaciones que expresa cantidades como función explícita de un número de variables independientes, denominadas parámetros. Cambiando el valor de las variables independientes (parámetros) de una ecuación se puede alterar el resultado final de la ecuación. Por ejemplo, la curva catenaria puede expresarse o representarse por medio de las siguientes ecuaciones paramétricas: $x(a, t) = t$; $y(a, t) = a \cdot \cosh(t/a)$. Las dos fórmulas expresan una cantidad (x, y) que dependen de las dos variables independientes o parámetros (a, t).

⁹⁵ El concepto de “patrón” de Alexander fue adaptado para los lenguajes de programación como una “unidad lógica de código” que resuelve problemas recurrentes. La idea de patrón está en la base de la programación orientada a objetos, *Object-Oriented Programming* (OOP), que a su vez está en la base de la tecnología *Building Information Modeling* (BIM). Para profundizar en la influencia de Alexander en la programación informática se puede consultar el trabajo de DEA (Diploma de Estudios Avanzados), *Estudio de los conceptos fundamentales en la teoría de Christopher Alexander* (2010), de la autora de esta tesis (Ianni, 2010).

⁹⁶ Según Alexander: “*Each one of these patterns is a morphological law, which establishes a set of relationships in space. This morphological law can always be expressed in the same general form: $X \rightarrow r(A, B, \dots)$, which means: Within a context of type X, the parts A, B, ... are related by the relationship r*” (Alexander, 1979, pág. 90).

⁹⁷ En su texto *A Pattern Language. Town, Buildings, Construction* (1977), Alexander propone un lenguaje de patrones organizado de manera jerárquica, en el que cada patrón se describe a partir de un formato común: el nombre y el número de clasificación en la jerarquía, un ejemplo (una imagen arquetípica), el contexto (los patrones a nivel más alto de la jerarquía, que contienen el patrón indicado), el problema que el patrón busca resolver, la solución en forma de una regla para la construcción del patrón, y, finalmente, los patrones inferiores en la escala jerárquica que el patrón indicado puede contener.

entre las soluciones específicas a una situación dada y las soluciones que son intemporales y universales.

Siguiendo a Alexander, John Gero y Mary Lou Maher entendieron el prototipo como una manera de codificar el conocimiento: “[...] *a conceptual schema for the representation of generalized design knowledge*” (Gero & Maher, 1988, pág. 74). Básicamente, el prototipo generaliza un conocimiento aplicable para resolver un problema específico: “*A design prototype is a conceptual schema for representing a class of a generalized heterogeneous grouping of elements, derived from like design cases, which provides the basis for the commencement and continuation of a design. Design prototypes do this by bringing together in one schema all the requisite knowledge appropriate to that design situation*” (Gero, 1990, pág. 5). A partir de esta definición de prototipo (*conceptual schema*), Gero mantenía que la generación o síntesis de la forma se basaba en la variación, o más bien en el “refinamiento” (Oxman & Gero, 1988), de prototipos existentes. Al igual que Alexander describía el patrón en base a la relación función-forma, Gero generalizaba las características del prototipo según su función, estructura y funcionamiento (*function-behaviour-structure*). Esta descripción permitía organizar varios prototipos en un sistema informático, de manera que, una vez identificadas las características de un problema de diseño, se podía seleccionar un prototipo que en otros casos se había mostrado adecuado para un problema similar.

En su libro *The Logic of Architecture* (1990) William Mitchell establecía una analogía entre la lógica del diseño paramétrico y los métodos de la tradición arquitectónica, como el método de composición de Durand. Así, afirmaba: “*Notice how the classical rules [...] structure a top-down design process: the designer begins with a very abstract definition and recursively refines into a detailed drawing of an instance of the type*” (Mitchell, 1990, pág. 141). El diseño paramétrico, como el método compositivo de Durand, se basaba en un proceso que conducía desde un esquema (*schemata*) a un diseño detallado (*instance*).⁹⁸ Como ejemplo de aplicación del diseño paramétrico, Mitchell, Liggett y Tan desarrollaron el sistema *Topdown* que permitía realizar variaciones paramétricas de los componentes de un edificio basado en el lenguaje clásico.⁹⁹ Una vez seleccionados los componentes de una librería (*library of schemata*) se podía crear un número infinito de variaciones cambiando los valores de sus parámetros (dimensión, ángulo, color, etc.) (Figura 29 y Figura 30).

⁹⁸ “‘How to’ drawing manuals often demonstrate this top-down stepwise refinement process in very direct and explicit fashion. For example, the famous sketchbooks of Villard de Honnecourt, Albrecht Dürer, and Leonardo da Vinci all show examples of schemata for various types of objects [...]. Dürer's *Four Books of Human Proportion* (1528) sets out the method, as applied to human faces and figures, in systematic, textbook fashion. Similarly, J-N-L. Durand's architectural design method, as illustrated in the plates in his *Précis* (1802) and *Partie Graphique* (1821), proceeds from a highly schematic parti through a sequence of refinement steps [...].” (Mitchell, Liggett, & Tan, 1990, pág. 138).

⁹⁹ En 1987, Milton Tan desarrolló *Topdown*, un programa basado en la noción de variación paramétrica escrito en Pascal, implementando diversos conceptos introducidos por Mitchell, Liggett y Kvan (Mitchell, Liggett, & Kvan, 1987). En el mismo año, Tan desarrolló *Miesing About* (Tan, 1987), que se aplicó para codificar los parámetros de las alineaciones de la pared de ladrillo de una casa de Mies (1923) como si fuesen líneas variables dentro de un rectángulo (lenguaje formal). En aquellos años (1986-87), Liggett impartía cursos en UCLA, donde se aplicaba el diseño paramétrico al lenguaje neoclásico.

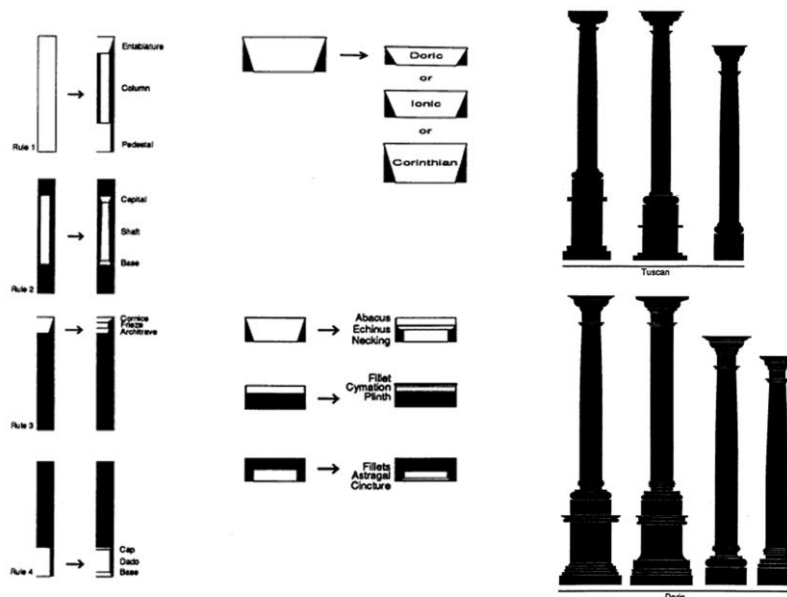


Figura 29. Reglas y variaciones paramétricas de columnas obtenidas mediante *Topdown*. Fuente: (Mitchell, Liggett, & Tan, 1988).

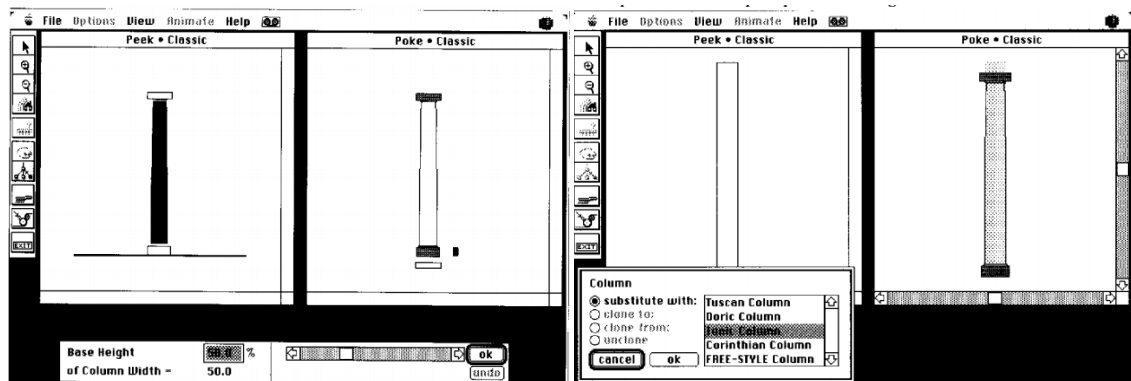


Figura 30. El sistema *Topdown* tiene dos ventanas de visualización gráfica: *peek window* representa el esquema (prototipo); *poke window* muestra el resultado de las variaciones paramétricas (instancia). Fuente: (Mitchell, Liggett, & Tan, 1990).

2.2.2.4 Diseño basado en conocimiento previo

La inteligencia artificial, rama de la ciencia dedicada a la resolución de problemas por medio de la reproducción del razonamiento humano, amplió considerablemente la posibilidad de formalizar el conocimiento en la arquitectura: con los métodos basados en casos precedentes (*precedent-based methods*), que permiten extraer el conocimiento contenido en las obras del pasado, y con los sistemas que codifican el conocimiento de los expertos (*expert systems*) en una base de conocimiento (*knowledge-base*) que también contiene las reglas de sentido común que aplican a la resolución de problemas (*rules of thumbs*).

El método basado en el análisis de precedentes puede entenderse como una generalización del método basado en prototipos. Ambos métodos proporcionan un punto de partida, prototipo o caso precedente, a partir del cual se llega a una solución nueva a un problema de diseño. Sin embargo, cada método sigue un camino distinto para alcanzar el objetivo: el método basado en casos busca “adaptar” el precedente a la nueva situación, mientras que en el método basado en prototipos se trata de “refinar” la solución. En el

“refinamiento” del prototipo está implícita la idea de diseño como transformación de un esquema genérico a un diseño específico capaz de conservar las características del esquema inicial; la “adaptación” de un caso precedente, por otro lado, entiende el diseño como la transformación de un caso específico en otro. De hecho, la diferencia entre el método basado en prototipos y en casos precedentes reside en que el primero es generalizable y, por tanto, parametrizable, mientras que el basado en precedentes el caso es un punto de partida específico y concreto que puede transformarse por medio de la supresión o agregación de componentes. En su artículo “Refinement and Adaptation: Two Paradigms of Form Generation in CAAD” (1991), Rivka y Robert Oxman explican la diferencia entre el diseño basado en el refinamiento del prototipo y el diseño basado en la adaptación de casos en estas palabras: “*Refinement and adaptation are relevant to form generation in design, since they are considered as two distinct ways in which formal knowledge in architectural composition is employed by designers through ‘typological’ and ‘precedent-based’ design. In refinement processes a generalized schema is transformed into a specific design; in adaptation, a specific precedent is transformed into a new design. The current research has focused upon these two models of form generation, their formalization, and their potential role in the computation of generation in design*” (Oxman & Oxman, 1991, pág. 313). En definitiva, el refinamiento del prototipo consiste en aplicar una solución a un problema de diseño similar a otro que el prototipo ya había solucionado en pasado, es decir, soluciona un problema conocido a partir de una solución anterior del mismo problema. Por el contrario, el método basado en casos usa ejemplos del pasado que no son prototípicos y que pueden reutilizarse en situaciones nuevas que no coinciden exactamente con aquellas en las que surgió el precedente, es decir, soluciona nuevos problemas basándose en las soluciones de problemas anteriores. Un caso precedente puede adaptarse a las necesidades y circunstancias de un nuevo problema (contexto, clima, topografía, etc.).

La formalización del conocimiento basado en casos fue objeto de investigación de una rama de la inteligencia artificial conocida como CBR (*Case-based Reasoning*).¹⁰⁰ CBR se aplica también en la medicina y la jurisprudencia, es decir, en ámbitos donde es fundamental la experiencia para entender y resolver nuevos problemas. El principal beneficio de usar el ordenador respecto de los métodos habituales residía en la posibilidad de encontrar casos adecuados para un problema específico, aun sin tener mucha experiencia. Con la ayuda del ordenador se captura (*collecting*) y almacena (*storing*) el conocimiento, para luego recuperarlo (*retrieving*) y aplicarlo (*transferring*). Un caso se describe en base a tres categorías (problema, solución y método de resolución), que se indexan y guardan en una base de conocimiento. La recuperación de un caso se basa en la comparación del problema actual de diseño con el de los casos precedentes (por medio de palabras clave o atributos). La adaptación, finalmente, se logra por medio de

¹⁰⁰ El razonamiento basado en casos (*Case-based Reasoning*, CBR) tiene sus raíces en la investigación de Roger Schank y Robert Abelson (Schank & Abelson, 1977), y Christopher Riesbeck sobre la memoria dinámica (Riesbeck & Schank, 1989). Se aplica en campos en los que la experiencia resulta determinante para entender y resolver nuevos problemas (Kolodner, 1993). *Case-based Design* (CBD) se refiere a la resolución de problemas de diseño por medio de la adaptación de soluciones que ya se han usado para problemas similares.

mecanismos de transformación euclidiana. Algunos sistemas que han sido desarrollados para asistir en el diseño basado en casos precedentes son CYCLOPS, un sistema desarrollado por Navinchandra para el diseño de espacios exteriores (Navinchandra, 1988); CADSYN, un sistema híbrido desarrollado en la University of Sidney (Maher & Zhang, 1991) para problemas estructurales; ARCHIE, un sistema de navegación inteligente desarrollado en el Georgia Institute of Technology (Goel, Kolodner, Pearce, Billington, & Zimring, 1991), cuyo objetivo era proporcionar a los arquitectos una biblioteca útil para el diseño de oficinas; y SEED (*Software Environment to support Early phases on building Design*), un sistema que ofrecía configuraciones tridimensionales de casos precedentes (Flemming, Coyne, & Woodbury, 1993). Un grupo de investigación de la Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zúrich (ETH), cuyos principales investigadores fueron Bharat Dave y Gerhard Schmitt, desarrolló un sistema para el diseño de edificios basado en la adaptación o combinación de uno o más casos precedentes para crear nuevas soluciones (Dave, y otros, 1994).

Otra manera de formalizar el conocimiento en arquitectura es recurrir a reglas. A diferencia del formalismo de las gramáticas formales (*shape grammars*), que pueden reinterpretarse como una codificación del conocimiento por medio de reglas geométricas extrapoladas de otros edificios, los sistemas expertos de la inteligencia artificial (*expert systems*) buscaban capturar las reglas reconocidas o de sentido común (*rules of thumbs*) para solucionar problemas como lo harían profesionales expertos. En este contexto, tal como comenta Javier Monedero, el conocimiento en arquitectura es “*el conjunto de reglas, hechos, verdades, razones y datos heurísticos recopilados por expertos humanos que han probado su aplicabilidad a la resolución de problemas específicos en un área determinada de aplicación*” (Monedero, 1999, pág. 350). John Gero definió un sistema experto en estos términos: “*Expert system are computer programs which attempts to behave in a manner similar to rational human experts*” (Gero, 1985). Es decir que los sistemas expertos buscan reproducir el razonamiento de un diseñador experto a la hora de resolver un problema, quien aplica el conocimiento adquirido a lo largo de la práctica de su profesión. Los sistemas expertos se componen de una base de conocimiento, a la que se aplican operadores lógicos mediante reglas de inferencia automatizadas (motor de inferencias),¹⁰¹ y una interfaz, que permite la entrada de preguntas y salida de respuestas tanto en forma de respuestas directas a las preguntas formuladas como de explicaciones acerca del razonamiento que condujo a esta respuesta. Entre los ejemplos de sistemas expertos desarrollados en el ámbito de la arquitectura se pueden citar: LOOS, desarrollado por Ulrich Flemming para la generación de espacios en relación con una serie de criterios, y KAAD (*Knowledge-Based Assistance for Architectural Design*), un sistema para el diseño de hospitales realizado por el grupo de investigación dirigido por Gianfranco Carrara en la Universidad La Sapienza de Roma que permitía representar un edificio a partir de la composición de elementos de la construcción (muros, puertas, habitaciones, etc.) y

¹⁰¹ El conocimiento es codificado en un sistema experto por medio de reglas de inferencia, en la forma *IF-THEN*. *IF* se refiere a datos o hechos del problema (A, B, C), y *THEN* deriva nuevas conclusiones de los datos o hechos. Un ejemplo genérico: *IF* A y B son verdaderos, *THEN* hay evidencia de que también C es verdadero. Un ejemplo específico: *IF* una viga de X material debe cubrir una luz de X metros, *THEN* no debe tener una sección inferior a X cm.

detectar violaciones de la normativa o incumplimiento de los objetivos (Carrara, Kalay, & Novembri, 1994).

Todos estos métodos que se basaban en un conocimiento previo, ya sea expresado por medio de reglas como de casos existentes, tenían limitaciones para generar nuevas soluciones de diseño. En este sentido Yehuda Kalay afirmaba: “*Rule-based methods are trapped in their rules bases, and case-based methods, by definition, are restricted to adaptation of older solutions. That is, using design knowledge that has been codified procedurally or in the form of design cases cannot, in and of itself, emulate the creative leap that designers rely upon when generating novel solutions*” (Kalay, 2004, pág. 202). Tanto la aplicación de reglas como el recurso a casos precedentes parecían poner límites a la creatividad. El siguiente paso en la investigación sobre la automatización del diseño se centró en la posibilidad de crear procesos que no estuviesen vinculados con la tradición, el conocimiento y la experiencia humana, sino que potenciasen la creatividad. Básicamente, tal como lo exponía Kalay, las cuestiones a resolver serían las siguientes: “[...] *could computational design synthesis methods be developed that are free from the shortcomings (and benefits) of human experience? Would they yield novel, ‘creative’ design solution?*” (Kalay, 2004, pág. 277). Las respuestas a estos interrogantes se encontraron en los métodos evolutivos, es decir, en procedimientos inspirados en la evolución de la naturaleza.

2.2.2.5 Diseño evolutivo

A partir de la década de 1990, al interés en la formalización de los métodos tradicionales (tipo, reglas), se añadió la investigación de métodos inspirados en los procesos de la naturaleza, como la evolución de la especie (reproducción y selección), que no se basaban en un conocimiento previo. La evolución es un proceso no-lineal y no-determinista que en la naturaleza lleva a la formación de patrones y formas nuevas como resultado de la interacción con elementos existentes, dando lugar a un fenómeno conocido en la teoría de sistemas, cibernética y biología como emergencia (*emergence*), y que ya estaba implícito en ciertos formalismos (*shape grammars*).

Antes del desarrollo de los algoritmos evolutivos ya existía una línea de investigación encaminada a reproducir los principios de organización geométrica presente en la naturaleza. La serie de Fibonacci, los fractales, los sistemas-L (*L-systems*), los diagramas Voronoi (*Voronoi diagrams*) o el autómata celular (*Cellular Automaton*) se aplicaron para reproducir la formación de plantas y organismos. Estos procesos, que caben bajo la definición de procesos morfogenéticos, se aplicaron también a la arquitectura para generar formas complejas. Los sistemas-L son un lenguaje formal inventado por Aristid Lindermayer (1968) para simular el crecimiento de plantas a partir de un sistema de símbolos y reglas de sustitución o combinación de símbolos.¹⁰² Estos

¹⁰² *L-systems* son una gramática determinada por un alfabeto o conjunto de símbolos con elementos variables y constantes; un estado inicial del sistema (*initial string*); y un conjunto de reglas que definen cómo las variables son remplazadas por combinaciones constantes u otras variables. Una serie de símbolos representa el estado inicial, y las reglas especifican cómo deben ser reemplazados los símbolos de forma recursiva. Los símbolos pueden a su vez incluir parámetros tales como las longitudes y ángulos de las ramas y las formas de las hojas y flores. Otorgando valores a los parámetros se pueden representar varias especies de plantas.

formalismos fueron aplicados llevando al límite la idea de emergencia que ya estaba implícita en las *shape grammars*.¹⁰³ En el ámbito de la arquitectura, estos métodos fueron utilizados por Dennis Dollens y Karl Chu, para crear formas que son el resultado de la morfogénesis o auto-organización (Figura 31). Los fractales son formas irregulares de la naturaleza basadas en un patrón geométrico único que, al ser dividido, reproduce el patrón original a una escala inferior. Así, con cualquier escala que se examine un fractal, se puede apreciar el mismo patrón geométrico. El término “fractal” fue introducido por el matemático Benoît Mandelbrot (1975), a partir del término latín *fractus*, que significa irregular, para describir aquellos elementos matemáticos y geométricos que se caracterizan por la auto-repetición o auto- semejanza. Los fractales pueden reproducirse a partir de una forma inicial (*initiator*) y unas reglas de división (*generator*). Este formalismo da lugar a un proceso de autogeneración de formas siempre iguales y siempre distintas, un fenómeno reconocible en muchas formaciones naturales (en plantas, nubes y rocas, por ejemplo). El formalismo de los fractales se ha aplicado en la arquitectura para la generación de texturas o la simulación del crecimiento urbano. Un ejemplo muy conocido es el Frankfurt Biocentrum (1987) de Peter Eisenman (Figura 31). Los diagramas Voronoi son un método de descomposición geométrica que permiten dividir el espacio en tantas regiones como puntos u objetos estén contenidos en el mismo, de manera que a cada uno se le asigna una región formada por aquello que está más cerca de él que de los otros puntos. Este proceso de división da lugar a unos polígonos convexos que son regiones de influencias de los puntos asociados a ellas (regiones de Voronoi). Este tipo de diagrama fue introducido por René Descartes (1644), pero debe su nombre al matemático ruso Georgy Fedoseevich Voronoi (1907), quien creó unos algoritmos que actualmente se usan en biología, geofísica, antropología y ciencias de la información para obtener composiciones bidimensionales y tridimensionales que recuerdan a la textura de la piel de la jirafa o la estructura de las alas de la libélula. En la arquitectura, los diagramas Voronoi se han utilizado en diseños de envolventes y fachadas de edificios. La reproducción, una de las características más llamativas de los seres vivos, ha sido uno de los temas clásicos de la simulación por medio de modelos matemáticos. El autómata celular (*Cellular Automaton*) es un modelo matemático que simula el comportamiento de sistemas biológicos dinámicos, incluidos los procesos de auto-organización y auto-reproducción. Este modelo se compone de una matriz cuyas celdas se conocen como células. Cada célula puede asumir un valor dentro un número finito de estados posibles (por ejemplo “0” o “1”). Además, se tienen en cuenta las relaciones de vecindad entre células. De acuerdo con esto, a cada célula se le aplica una función de transición que modifica el valor de la misma a partir del valor de las células adyacentes. En su libro *An Evolutionary Architecture* (1995), John Frazer explica sus experiencias con los autómatas celulares para generar formas arquitectónicas (Figura 32). La aplicación de CA a la arquitectura ha llevado a la generación de las formas complejas de Karl Chu (2006), Studio Rucker (2006) (Figura 32) y Mike Silver (2006).

¹⁰³ La diferencia fundamental entre las *shape grammars* y los sistemas-L radica en el método de aplicación de las reglas de producción. Mientras que en las primeras se aplican de manera secuencial, en los segundos se aplican en paralelo. Esta diferencia se debe a que en los sistemas-L, las reglas sirven para reproducir las divisiones en organismos celulares que tienen lugar simultáneamente.

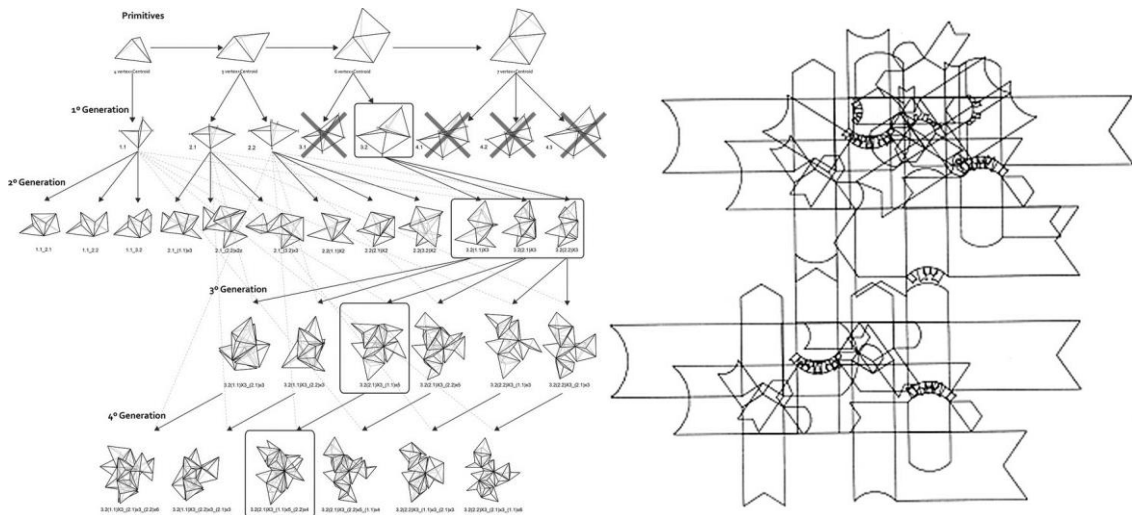


Figura 31. Izquierda: proceso que aplica el método sistemas-L para X-Phylum (1999) de Karl Chu. Fuente: (Matthew, 2015). Derecha: Estudio sobre el proceso fractal para el Frankfurt Biocentrum (1987) de Chris Yessios y Peter Eisenman. Fuente: (Terzidis, 2006).

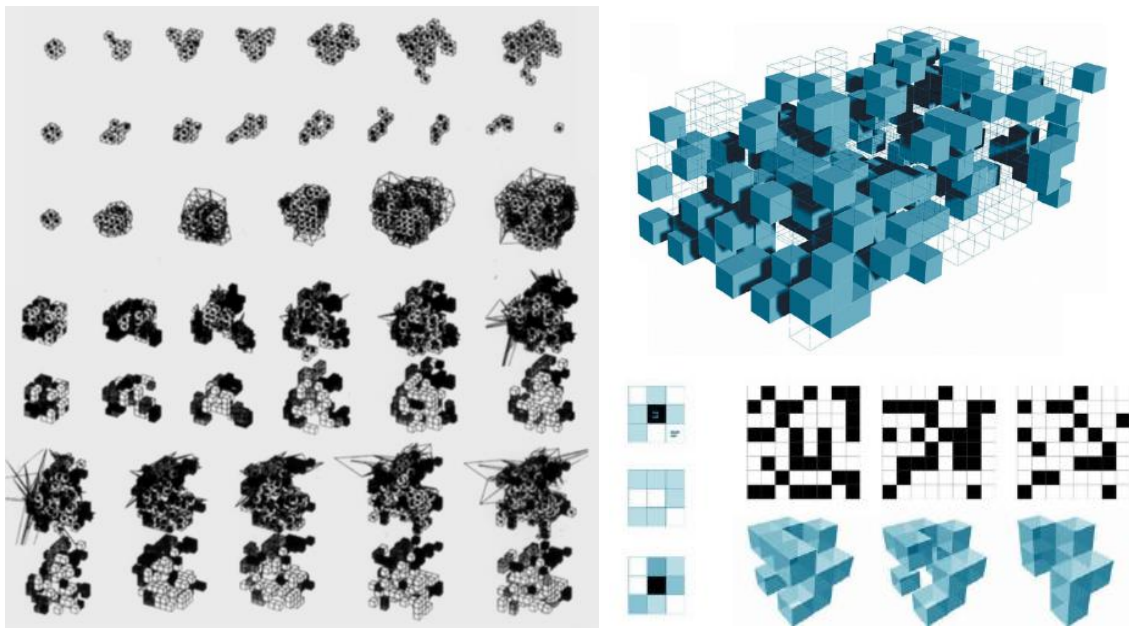


Figura 32. Izquierda: *Three-dimensional self-organizing constructor* (1991), Ichiro Nagasaka. Fuente: (Frazer, 1995). Derecha: 3-D Game of Life (2004), Brandon Williams/Studio Rocker. Fuente: (Rocker, 2006).

A diferencia de los procesos morfogénéticos que reproducen el crecimiento de un individuo, los métodos evolutivos buscan reproducir el proceso de desarrollo de las especies, simulando la adaptación, reproducción, cruzamiento y selección genética. Entre los diversos algoritmos evolutivos, el más popular es el algoritmo genético, que simula la evolución entendida como la adaptación de un grupo de soluciones candidatas (*population*) a unos criterios predefinidos (*fitness function*), realizando cambios aleatorios

para llegar a ellos, generación tras generación, a la solución “más apta”.¹⁰⁴ Más específicamente, el algoritmo genético se basa en la distinción entre el genotipo, que es el conjunto de todos los genes que forman los cromosomas y que determinan las características de cada especie, y el fenotipo, que controla la relación entre el individuo y el medio. Cada fenotipo es un caso específico o instancia (*instance*) del genotipo o esquema general (*schemata*). Así, en el método evolutivo, los genes (que juntos forman el genotipo), se corresponderían con un grupo de parámetros, mientras que el fenotipo sería una propuesta de diseño. El algoritmo genético genera fenotipos, es decir propuestas de diseño, por medio de una serie de acciones aleatorias semejantes a las que actúan en la naturaleza y que se codifican en el cromosoma (cruce genético, mutaciones y recombinaciones genéticas). La población de fenotipos, o grupo de propuestas de diseño, se contrasta con los objetivos o criterios predefinidos para establecer qué individuos están mejor adaptados. Los individuos con menores posibilidades de adaptación son descartados, mientras que aquellos con un valor alto se cruzan entre ellos dejando como herencia sus rasgos beneficiosos para las nuevas generaciones. Así, mediante pequeños cambios incrementales a lo largo de varias generaciones, el algoritmo genético permite llegar a una solución que se acerca a lo óptimo, es decir, a la propuesta que mejor se adapta a los objetivos antepuestos.

Mientras que los algoritmos genéticos se han usado hasta hoy en la ingeniería como técnica de optimización, en la arquitectura han encontrado aplicación como métodos generativos. Robert Woodbury exploró la posibilidad de utilizar métodos basados en la evolución, entendida como un mecanismo que exhibe propiedades “creativas” (Woodbury, 1989), en la creación formal. De hecho, la evolución no es un proceso teleológico u orientado a objetivos, lineal o determinista.¹⁰⁵ De ahí que los algoritmos genéticos busquen reproducir la evolución realizando cambios de forma aleatoria y comprobando si esos cambios producen una mejora. A diferencia de cualquier proceso de búsqueda que empieza recurriendo a un conocimiento previo o descartando opciones, el algoritmo genético no descarta ningún camino de manera apriorística, permitiendo así, cuando se aplica a la generación de formas, producir propuestas que normalmente no se considerarían. Una de las ventajas del algoritmo genético respecto de los algoritmos usados en la investigación operativa, que trabajan de forma secuencial y persiguiendo un solo camino, reside en su capacidad de búsqueda paralela o simultánea, es decir la posibilidad de explorar el espacio de soluciones en múltiples direcciones a la

¹⁰⁴ Como afirma Peter Bentley en su texto *Evolutionary Design by Computers* (1999), existen cuatro tipos de algoritmos evolutivos (Bentley, 1999, pág. 8): *genetic algorithm* (GA) creados por John Holland (1973) y difundido por David Goldberg (1989); *evolutionary programming* (EP) creado por Lawrence Fogel (1963) y desarrollado posteriormente por David Fogel (1992); *evolution strategies* (ES) creados por Ingo Rechenberg (1973) y desarrollado por Thomas Bäck (1996); *genetic programming* (GP) creado por John Koza (1992). Los primeros dos tipos, EP y ES, estaban destinados a la resolución de problemas de diseño. De hecho, se usaron para optimizar el diseño de tuberías por medio de cambios aleatorios en la forma. GP fue creado ser ejecutado en programas de ordenador. La técnica más conocida y más ampliamente utilizada es el algoritmo genético (GA), el cual, entre todas las técnicas hasta ahora mencionadas, es el que más se acerca a reproducir la selección natural darwiniana.

¹⁰⁵ En su libro *The Blind Watchmaker* (1986), el biólogo Richard Dawkins afirma que los algoritmos genéticos actúan como un relojero ciego; al igual que la naturaleza, el algoritmo genético realiza cambios aleatoriamente sin responder a ningún objetivo. Más tarde se confirma la aptitud de las soluciones generadas por medio de cambios aleatorios.

vez. De esta forma, si un camino no resulta prometedor, se elimina y se continúa por otro, lo que aumenta la probabilidad de encontrar una nueva solución satisfactoria. Además, gracias al paralelismo y la posibilidad de evaluar diversos caminos simultáneamente, el algoritmo genético permite tratar con problemas no lineales, en los que cada variable o característica de una propuesta de diseño está relacionada con las demás. En otras palabras, los algoritmos genéticos no maximizan o minimizan un aspecto de una propuesta de diseño, sino que buscan una solución que optimice diversas variables. Los algoritmos genéticos también permiten la inclusión de múltiples funciones para la búsqueda de una solución óptima capaz de satisfacer diversos objetivos (optimización multiobjetivo). Este planteamiento basado en la negociación (*tradeoff*) entre diversos objetivos se conoce en la economía clásica como optimización de Pareto.¹⁰⁶

Frazer no solo exploró métodos basados en la morfogénesis y en los autómatas celulares, sino que también planteó la posibilidad de una arquitectura evolutiva. Frazer aplicó los algoritmos genéticos para optimizar la forma de un barco, generando mediante pequeñas mutaciones genéticas una población o alternativas de formas con diversas curvaturas, con el propósito de hallar la forma más idónea (selección natural). Otros autores aplicaron los algoritmos genéticos al problema de la asignación de espacios (*space allocation problem*), que ya se había tratado con técnicas de investigación operativa. Aquí el algoritmo genético no solo permitió reasignar los espacios en base a un esquema predefinido, sino además encontrar nuevas propuestas de diseño. Peter Bentley desarrolló un sistema evolutivo de carácter general, GADES (*Genetic Algorithm Designer*), que se empleó para la distribución de las salas de un hospital (*facility managment*) (Bentley, 1999). Michael Rosenman y John Gero aplicaron los algoritmos genéticos para distribuir las habitaciones de una vivienda (Rosenman, 1996; Rosenman, 1997; Rosenman & Gero, 1999) y explorar posibles organizaciones de bloques

¹⁰⁶ Los primeros intentos de utilización de múltiples criterios en un algoritmo genético se remontan a finales de la década de 1960. Sin embargo, desde aquellos primeros intentos han aparecido en la literatura otras técnicas basadas en la distribución de Pareto (Fonseca & Fleming, 1993). El óptimo de Pareto es la condición según la cual no es posible beneficiar a más elementos o aspectos de un sistema sin perjudicar a otros. Gero fue uno de los primeros en aplicar el principio de la optimización de Pareto a problemas de diseño en la arquitectura. En su artículo "Computer-aided design by optimization in architecture" (1979), afirmaba: "*Historically, optimization has been treated as a mathematical problem in which the interest lay in the means of obtaining the extreme value of the objective. Of secondary importance were the decisions required to be taken to achieve that objective. In design the importances are reversed. The designer is largely concerned with the decisions because he knows that the best has been done within the available constraints. The objective can even be an artifice used simply to allow decisions to be taken - it is decision taking which is the crux of the use of optimization in design*" (Rittel, 1972). En un proyecto de arquitectura, lo importante no es conocer la solución que optimiza un objetivo, sino conocer la mejor decisión que puede tomarse dentro de unos límites prefijados. "*What the designer wants to know is the best he can do in each objective without reductions in the performance of the other objectives. This is a class of solutions for which the performance in one objective is better than that produced by any other solution which has the same or better performance in all other objectives. The performance in one objective can only be improved at the expense of the performance in at least one other objective. Such solutions are termed 'Pareto optimal.'* [...] *The result of multi-objective optimization is not a unique optimum but a field of solutions each of which is Pareto optimal and each of which represents some set of weighting factors. The designer searches all the Pareto optimal solutions, to find satisfactory ones in terms of his objectives, determining the tradeoffs in the process. Thus, the responsibility for the decisions rests ultimately with the designer*" (Gero, 1980, pág. 229). Gero afirmaba que, a diferencia del planteamiento tradicional de la optimización vinculada a la obtención de un valor extremo de un objetivo, la optimización de Pareto podía ser útil para producir información para la toma de decisiones por parte del arquitecto.

habitacionales (Gero & Kazakov, 1996). Estos autores concebían el edificio como un sistema organizado jerárquicamente, de modo que tipificaron el código genético en diversas partes, cada una relacionada con un nivel jerárquico diferente. Las habitaciones se agrupaban en zonas (zona sala de estar, zona dormitorio, etc.), y las zonas se agrupaban para formar la vivienda. Esta organización jerárquica permitía reducir el espacio de exploración de las propuestas de diseño y los tiempos de ejecución del algoritmo. Otro beneficio de dividir el cromosoma de manera jerárquica residía en la posibilidad de afrontar una variedad de objetivos, ya que para cada nivel de jerarquía podían aplicarse diversos criterios evaluativos (por ejemplo, para el nivel correspondiente a la habitación se podía requerir la minimización de su perímetro; para el nivel de zonas, se podían plantear requisitos relacionados con la adyacencia de las diversas habitaciones, etc.).

Los algoritmos genéticos proporcionaban numerosas ventajas, pero tenían ciertas restricciones. Los algoritmos genéticos simulan un proceso que ocurre en la naturaleza, por tanto, su uso en la arquitectura implicó entender el acto creativo como un proceso impersonal (al respecto, John Frazer llegó a definir la arquitectura como una forma de vida artificial). La virtud de este planteamiento residía en la posibilidad de generar formas nuevas que no estuviesen vinculadas con ideas preconcebidas (tipos y reglas geométricas), aunque no es necesariamente así. Si bien es verdad que el proceso evolutivo no sigue la lógica del razonamiento humano ni utiliza información *a priori* para realizar cambios y combinaciones con el fin de encontrar la solución deseada, el conocimiento del arquitecto está implícito en la definición del genotipo (por ejemplo, Rosenman y Gero definían de forma apriorística la composición jerárquica de la vivienda en zonas y habitaciones) en términos de criterios evaluativos (función objetivo). Además, la participación del arquitecto es necesaria tanto para la creación de los componentes como de sus reglas de combinación. Así, los métodos evolutivos no reemplazaban o eliminaban por completo la noción de tipo. De hecho, el propio concepto de genotipo es asimilable al concepto de tipo.

2.2.2.5 Los métodos generativos: la ambigüedad del concepto de creatividad

Al igual que los métodos analíticos, los métodos generativos parten de la suposición de que el acto creativo es un proceso abstracto y susceptible de ser formalizado. Es por ello que, pese a que reconsideraron la importancia de la forma preconcebida o el conocimiento previo, están expuestos a las mismas críticas que recibieron los métodos de diseño analíticos. Mientras que los métodos analíticos se basaban en la idea de que el proceso de creación empieza con la definición de unos requisitos funcionales que acaban siendo sintetizados en una forma (*problem-solving*), los métodos generativos consideraban que el proceso creativo en arquitectura empieza con un grupo de elementos predefinidos que se combinan y modifican hasta que alcanzan determinadas cualidades funcionales (*puzzle-making*). En el primer caso se planteaba que la forma era el resultado de la función (la solución depende del problema), en el otro, que la función era resultado de la forma (el problema depende de la solución). En ambos casos se considera que existe una relación causal entre forma y función. Esta relación, sin embargo, es mucho más compleja que una

relación causal, como lo demuestra el hecho que una forma es capaz de cumplir con diversas funciones, o una función puede ser realizada por diversas formas.¹⁰⁷

Por otro lado, algunos métodos generativos se fundamentan en la combinación y variación de figuras geométricas para producir soluciones nuevas: las soluciones de las *shape grammars* son predecibles, mientras que las de los métodos evolutivos son inesperadas. Subyace en ambos métodos la noción de creatividad como búsqueda de lo original o descubrimiento de nuevos patrones, conexiones o relaciones generadas a partir de figuras geométricas existentes (*shape emergence*). Sin embargo, en el proceso de creación es fundamental la participación del diseñador o arquitecto no solo para proponer los elementos y las reglas de combinación, sino también para reconocer si una solución obtenida a partir de la organización de estas figuras es innovadora o interesante.¹⁰⁸ Es más, en el proceso de descubrimiento es esencial el papel de la representación gráfica, cuyo valor no es suficientemente reconocido en estos métodos. El arquitecto no solo registra visualmente la información por medio de la representación, sino que también descubre en ella nuevas ideas y patrones formales. Este mecanismo interactivo ha sido definido en investigaciones más recientes como *visual thinking*, *visual reasoning* o *graphic thinking*, lo que confirma el papel fundamental de la representación gráfica en el proceso creativo de arquitectura.¹⁰⁹

¹⁰⁷ Yehuda Kalay afirmaba: “*The over-simplicity of the notion ‘Form Follows Function’ is evidenced by the multitude of different forms that essentially were designed to support similar functions. Chairs provide one of the best examples of different forms that were developed to support exactly the same function (sitting). [...] The notion that a given form can support many different functions is demonstrated well by designs of playgrounds, parks, and civic plazas*” (Kalay, 1999, págs. 398-399).

¹⁰⁸ La “emergencia” es al mismo tiempo perceptiva y cognitiva: primero se perciben las condiciones que permiten la interpretación de figuras geométricas (por ejemplo, la percepción de líneas como límites de espacios o muros), y luego se les asigna un significado. La primera modalidad del proceso es sintáctica, se basa en ver lo que no está representado explícita o intencionalmente (en palabras de Goldschmidt *seeing as*); la segunda es interpretativa, pues se trata de un proceso de imaginación o comprensión del significado o posible significado de las figuras (según Goldschmidt, *seeing that*). Las dos actividades son distintas, pero inseparables (Goldschmidt, 1991). En este sentido, Madrazo sostiene: “*Another objection that can be made to the application of shape grammars to architecture has to do with the representation of architectural form. In principle, the meaning of a shape grammar is to capture the most conceptual aspects of formal composition, putting aside the most ‘iconic’ aspects of formal representation. [...] But what comes at the end of the process is an iconic representation of a villa or of a Prairie house, that is to say, a shape that can be visually recognized as being representative of Palladio or Wright’s architecture. The shape grammarian underestimates the fact that, if we are able to identify a shape generated by the shape grammar as being a member of the class ‘prairie house’, for example, it is not because we recognize in the shape the rules that have been encoded in the grammar but rather, because we see in the graphic representation (e.g. the plan drawings) those features that we commonly associate with the Prairie houses: the cruciform plan, the intersecting roofs with projecting eaves, the piers at the end of the wings, the solid core or chimney and so on*” (Madrazo, 1995, págs. 364-365).

¹⁰⁹ Schön argumentaba que el diseño surge de la relación del diseñador con el objeto diseñado. En 1980, Paul Laseau definió este ciclo basado en la interacción entre el diseñador y la representación como *graphic thinking*: “*The potencial of graphic thinking lies in the continuous cycling of information-laden images from paper to eye to brain to hand and back to the paper. Theoretically, the more often the information is passed around the loop, the more opportunities for change*” (Laseau, 1980, pág. 8). En esta misma línea, Daniel Herbert afirmaba: “*Architects explore these design possibilities by sketching and drawing or by building physical models which are fundamental characteristics of graphic thinking*” (Herbert, 1993). Oxman se refirió a este proceso de interacción entre el arquitecto y la representación gráfica como *visual reasoning*, reconociendo así su naturaleza cognitiva (Oxman, 1997).

Las limitaciones de los métodos generativos fueron a su vez la razón por la que los métodos de diseño permanecieron circunscritos al ámbito académico y no se aplicaron a la práctica profesional. Mientras tanto, el ordenador irrumpió en la práctica profesional como un medio de representación gráfica, fundamentalmente. Aunque estuviesen pensadas para mejorar la producción de dibujos y planos, algunas de las herramientas digitales se aplicaron para generar formas, en la fase conceptual del proyecto.

2.2.3 Sistemas generativos: el ordenador como medio para el diseño

A finales de la década de 1950, gracias a la financiación de compañías como General Motors, que estaban interesadas en la posibilidad de representar geometrías cada vez más complejas, se iniciaron las investigaciones para utilizar los ordenadores como medio de representación gráfica. El interés en la aplicación de herramientas de representación digital a la arquitectura surgió una década más tarde en algunos círculos académicos de los Estados Unidos (Carnegie Mellon University, Massachusetts Institute of Technology) y Reino Unido (Applied Research of Cambridge, University of Strathclyde en Glasgow), que impulsaron el desarrollo de sistemas específicos para el diseño de edificios. En la década de 1970, algunos sistemas CAD como HARNESS (1969) y OXSYS (1972) utilizaban ya el modelado paramétrico de componentes de un edificio aplicando técnicas de cálculo para la estimación de costes, análisis lumínico, estructural y térmico. En el grupo de investigación ABACUS se desarrollaron otros sistemas, como GOAL (1972), que proporcionaban información cuantitativa para el análisis de coste-beneficios.¹¹⁰ Sin embargo, el uso de la tecnología CAD en la práctica profesional se propagó en la década siguiente gracias al desarrollo, difusión y comercialización de herramientas de representación genéricas. Mientras que la primera generación de sistemas CAD destinados a la arquitectura permitía la representación de elementos constructivos (ventanas, columnas, escaleras, etc.), la segunda generación utilizaba elementos geométricos (líneas, superficies y sólidos). Estos nuevos sistemas CAD estaban pensados para mejorar la elaboración de planos técnicos y la comunicación visual en forma de representaciones fotorrealistas (*renderings*), pero no ofrecían ningún tipo de asistencia para el análisis y el cálculo de las prestaciones de un edificio.

A finales de la década de 1980, se empezaron a comercializar herramientas de representación para la industria cinematográfica y aeroespacial que facilitaban la reproducción y transformación de geometrías complejas. Desde la década de 1990, estas herramientas digitales se aplicaron de manera experimental en la arquitectura para generar nuevas formas. Arquitectos como Greg Lynn, Marcos Novak, Lars Spuybroek y Kas Oosterhuis produjeron formas amorfas y fluidas con estas herramientas digitales. En estas exploraciones, se pasó de la lógica de creación de la forma (*form-making*) a la lógica de búsqueda de la forma (*form-finding*). A principios del nuevo milenio, debido a la preocupación creciente por la sostenibilidad, y a la dificultad de construir las formas

¹¹⁰ Estos sistemas solo podían aplicarse al diseño de tipos de edificios específicos (HARNESS para el proyecto de hospitales, CEDAR para el proyecto de oficinas de correos, etc.) y no permitían visualizar los efectos de las prestaciones del edificio ni su evaluación. Además, estaban pensados para automatizar el diseño empleando componentes estándar y la optimización se limitaba a aspectos cuantitativos. Por último, necesitaban de ordenadores poderosos para el cálculo. Todas estas limitaciones hicieron que estos sistemas no tuviesen éxito en la práctica profesional.

extremadamente complejas que el ordenador era capaz de generar, se volvieron a valorar los aspectos físicos y materiales del edificio.

2.2.3.1 Diseño generativo

A diferencia de las primeras herramientas paramétricas empleadas en la arquitectura, que permitían generar un componente variando la relación de sus partes (variaciones paramétricas), algunas herramientas desarrolladas para realizar los efectos especiales de la industria cinematográfica (Maya, Softimage, Alias) o las formas curvas de los aviones (Catia) permitían modificar el valor de parámetros de un modelo tridimensional para generar formas alternativas.¹¹¹ El uso de estas herramientas en la arquitectura permitía modificar la totalidad más que los componentes, dando lugar a un proceso generativo dinámico que a menudo acababa en formas complejas y amorfas, no asimilables a un tipo.

Los primeros trabajos realizados según esta lógica del diseño paramétrico se dieron a partir del uso de técnicas de animación de la industria cinematográfica que incluyen el parámetro del tiempo (*keyframe-animation*, *forward/inverse kinematics*, *dynamic force fields*, *particle emissions*). Greg Lynn fue pionero en la aplicación de estas herramientas de animación en el diseño arquitectónico, que empleó para simular la transformación en tiempo real de un objeto. En su texto *Animate Form* (1999), Lynn distinguía entre movimiento y animación: “*Animation is a term that differs from, but is often confused with, motion. Where motion implies movement and action, animation suggests animalism, animism, evolution, growth, actuation, vitality and virtuality. [...] architecture occupies the role of the static frame through which motion progresses*” (Lynn, 1999, págs. 9-11). El resultado de la animación era una forma concebida dinámicamente. En el proyecto Port Authority Bus Terminal (1995), Lynn materializó un campo de fuerzas invisibles y dinámicas como el movimiento de peatones por medio de la técnica de emisión de partículas (*particle emissions*), dando lugar a una serie de formas generadas dinámicamente (Figura 33).

¹¹¹ El planteamiento actual del diseño paramétrico está directamente vinculado con los avances en las herramientas paramétricas que ofrecen la oportunidad de introducir y modificar parámetros de un modelo tridimensional en lugar que realizar variaciones de componentes por medio de un algoritmo (cada vez que se cambiaba un valor en el programa *Topdown* desarrollado por Mitchell, Liggett y Tan en 1987 se ejecutaba el *script*). Lynn afirmaba: “*The relationship between parts and whole is essential to the evaluation of quality, meaning and experience of any architectural design. Parametric tools – that is, tools that blend the hierarchy of parts and whole – are extremely powerful for an architect because of this. Unfortunately, the initial response to parametrics was an abdication of the problem of the design of the whole in favour of the programming of the component. The use of parametric software is all about the design task shifting from either top-down or bottom-up to the territory of parts-to whole fusion. I shy away from words like ‘feedback’ and ‘synergy’ between parts and whole because so far, the experimental architects have just jumped from top-down determination of parts to bottom-up determination of wholes ... I find this theoretically naive and it avoids the most interesting thing about parametrics, and that is the ability to fuse the hierarchy of parts and whole to produce a deeply modulated whole as well as infinitesimal variation among parts*” (Rocker, 2006, pág. 92).

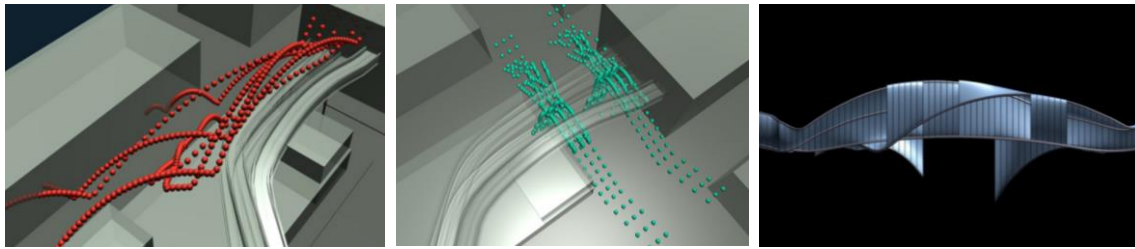


Figura 33. Port Authority Bus Terminal (1995), Greg Lynn. La representación dinámica de las fuerzas del entorno, como el camino que siguen los peatones, cristaliza en la forma. Fuente: Greg Lynn Buildings.

Otro objetivo del diseño generativo fue la transformación de superficies topológicas, es decir la deformación elástica (estiramiento, flexión, doblaje, retorsión o torsión) de geometrías que después de la transformación conservan algunas propiedades, como la dimensión, el número de componentes o la relación entre ellos.¹¹² De esta manera se pudo hacer un uso extensivo de curvas y superficies continuas, descritas como superficies regladas (*ruled surfaces*) o NURBS (*non-uniform rational b-splines*), es decir curvas y superficies racionales no uniformes basadas en curvas parametrizadas y controladas por medio de nudos.¹¹³ La posibilidad de modificar superficies continuas y curvilíneas por medio de la variación en la ubicación y valor de los nudos llevó a la generación arquitecturas “plegadas” multidimensionales que Stephen Perrella definió como *hypersurfaces* (Perrella, 1998). La terminal marítima de Yokohama (1995-2002) de Alejandro Zaera Polo y Farshid Moussavi (FOA), es el resultado de la deformación de una superficie continua de doble curvatura sujeta a los flujos virtuales de peatones (Figura 34). El Water Pavilion (1994-1997) de Lars Spuybroek es una forma fluida que se obtuvo de la deformación de una superficie reglada (Figura 35). La terminal internacional en la Waterloo Station de Londres (1988-1993) de Nicholas Grimshaw es una superficie continua que, por medio de variaciones paramétricas, se adapta al recorrido curvo de las vías de los trenes (Figura 36). El cambio en los parámetros que determinan esta forma se propaga en los componentes (36 arcos). El Dynaform BMW Pavilion (2001) de Bernhard Franken es un volumen deformado por las fuerzas dinámicas de un coche en movimiento (Figura 36).

¹¹² Un círculo y una elipse, así como un cuadrado y un rectángulo, pueden considerarse topológicamente equivalentes, ya que tanto el círculo como el cuadrado pueden deformarse por estiramiento y transformarse respectivamente en un elipsoide o un rectángulo.

¹¹³ La superficie reglada está definida por la unión por interpolación lineal de dos directrices, una de las cuales es un segmento rectilíneo y la otra una curva. Cuando las dos directrices son curvas se obtienen superficies NURBS.

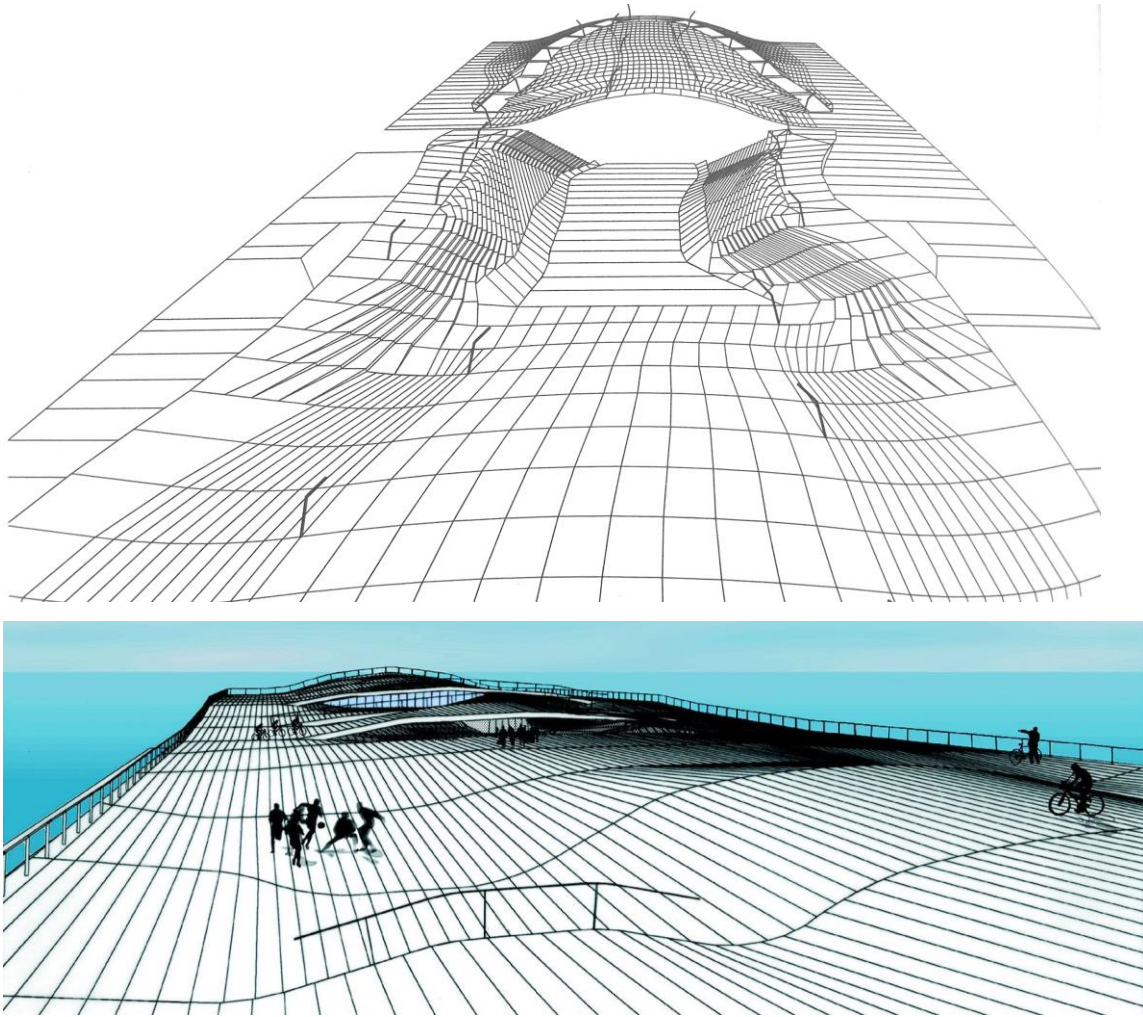


Figura 34. Terminal de Yokohama (1995-2002), FOA. Fuente: (Salazar, 2001).

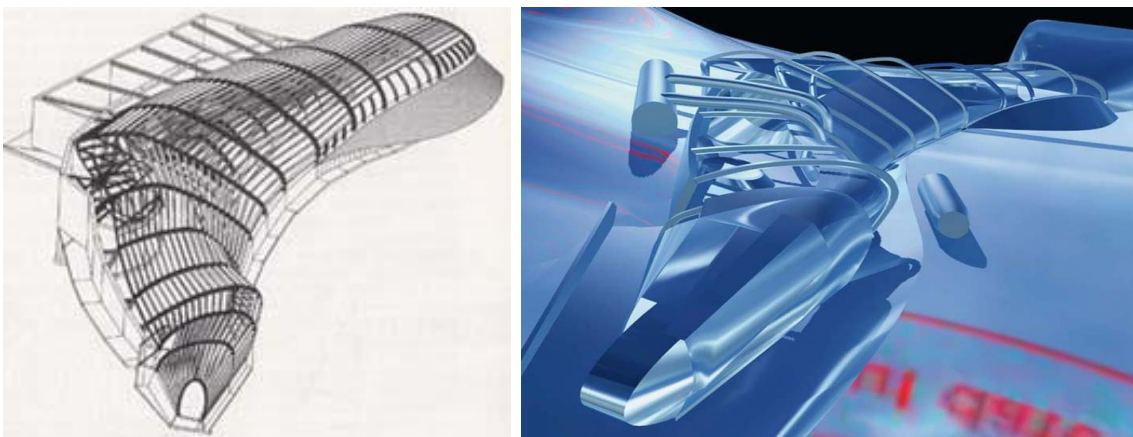


Figura 35. Water Pavilion (1994-1997), Lars Spuybroek. Fuente: Collection FRAC Centre.

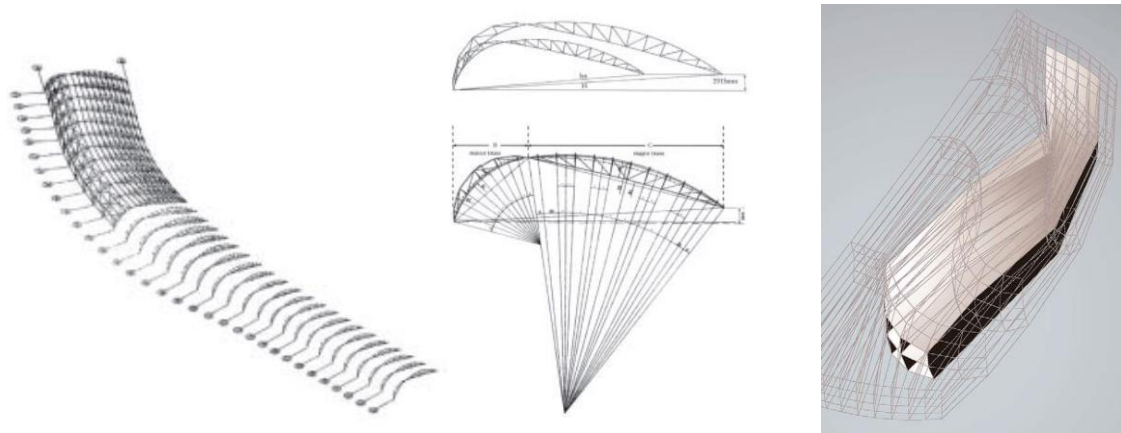


Figura 36. Izquierda: Waterloo Station (1993), Nicholas Grimshaw. Modelo paramétrico de un arco (Generative Components). Fuente: (Kolarevic, 2003). Derecha: Dynaform BMW Pavilion (2001), Bernhard Franken. Modelo paramétrico (Maya). Fuente: (Kloft, 2005).

Otro tipo de transformación topológica resulta de la fusión de superficies isomórficas, sujetas a fuerzas internas de atracción de la misma intensidad. El ensamblaje por adición o sustracción de objetos isomórficos da lugar a formas amorfas (*blobs*) debido a sus campos de influencia recíprocos. La técnica de *metaballs* permitió trabajar con superficies isomórficas concebidas originalmente para representar moléculas. Lynn usó esta técnica (con el software Maya) para el proyecto Embryological House (1999) (Figura 37). El Bubble BMW Pavilion (1999) de Bernhard Franken fue concebido fundiendo dos semiesferas que representan dos gotas de agua; la forma es el resultado de la acción de las fuerzas mutuas generadas de la unión de dos semiesferas (Figura 38).

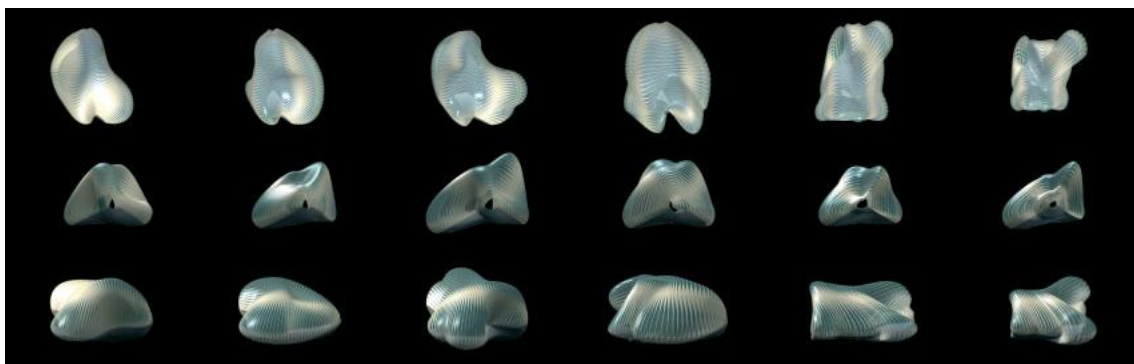


Figura 37. Embryological House (1999), Greg Lynn. Fuente: (Rocker, 2006).



Figura 38. Bubble BMW Pavilion (1999), Bernhard Franken. Proceso generativo (modelación geométrica basada en script o *metaball* en Maya). Fuente: Franken Architekten.

Al trabajar con superficies maleables, flexibles y controladas paramétricamente fue posible obtener formas complejas capaces de expresar las fuerzas del entorno social y cultural (*performance* cultural). Sin embargo, muchos proyectos se limitaron a ser imágenes en la pantalla, mientras que aquellos que llegaron a construirse requirieron la aplicación de otro tipo de técnicas. Con este fin se aplicaron métodos de análisis no estándar desarrollados en el campo de la ingeniería mecánica CAE (*Computer-aided Engineering*)– *Finite Element Method* (FEM) o *Finite Element Analysis* (FEA) –,¹¹⁴ que permitieron llevar a cabo el análisis de superficies continuas por medio de su descomposición en elementos discretos (Figura 39 y Figura 40).

¹¹⁴ El método FEM divide la superficie en elementos interconectados (líneas y nudos), definiendo una malla (*mesh*) que permite calcular su comportamiento estructural. Este método fue creado por Alexander Hrennikoff (1941) y Richard Courant (1942) para solucionar problemas de análisis estructural en la ingeniería aeronáutica, y se desarrolló posteriormente en la década de 1970. A partir de 1980, se empleó en programas comerciales que modelan mallas tridimensionales.

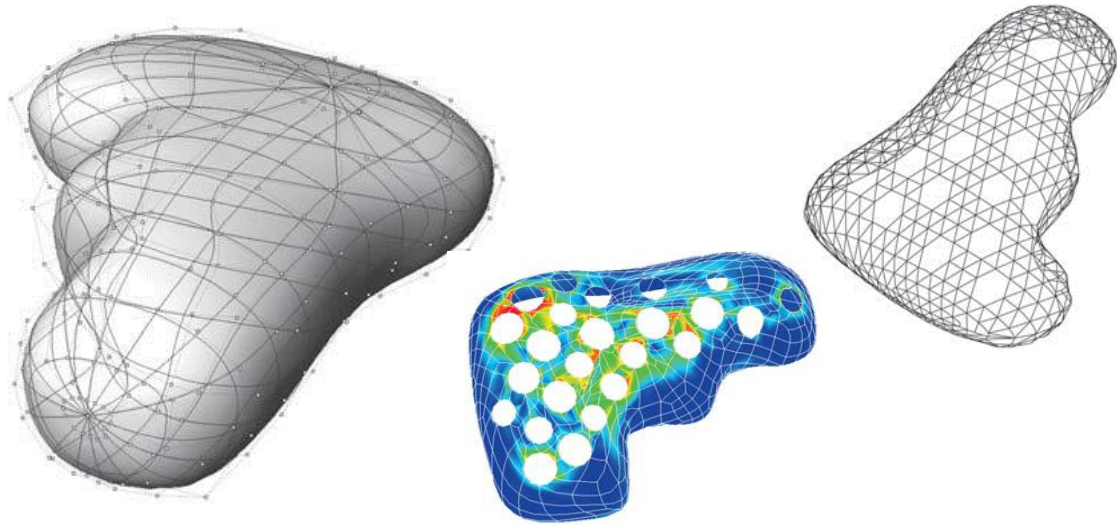


Figura 39. Kunsthaus Graz (1999-2003), Peter Cook. Modelo digital, triangulación de la estructura y análisis estructural (FEM). Fuente: (Kloft, 2005).

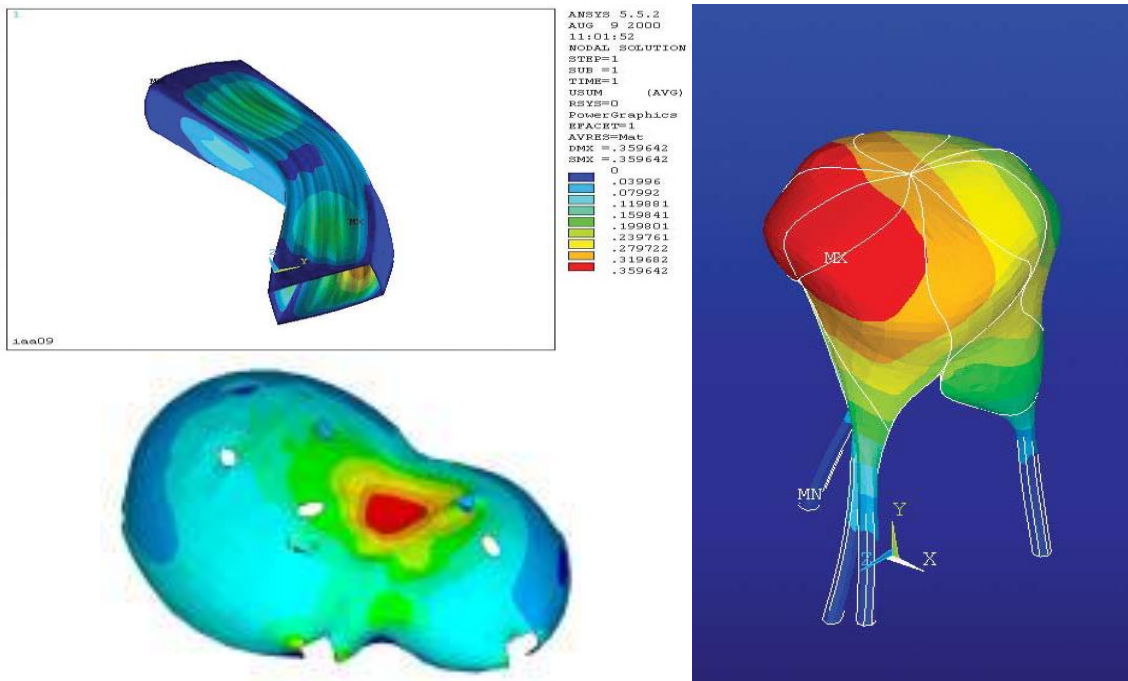


Figura 40. Análisis estructural (FEM): Bubble BMW Pavilion y Dynaform BMW Pavilion de Bernhard Franken. Fuente: (Kolarevic, 2003). Análisis estructural (FEM): D-Tower, Nox. Fuente: (Kolarevic, 2005).

2.2.3.2 Diseño performativo

Mientras que en los procesos generativos se seleccionaba una forma sin pensar cómo se construiría,¹¹⁵ arquitectos como Norman Foster, Nicholas Grimshaw, Toyo Ito y Herzog & de Meuron reivindicaban una visión holística del edificio, por lo que incluían en el proceso generativo los parámetros vinculados con el comportamiento físico del edificio (estructural, acústico, lumínico o energético). Estos arquitectos experimentaron nuevas maneras de trabajar con ingenieros u otros consultores utilizando las tecnologías disponibles. La tecnología CAE – herramientas de análisis estructural (FEM) o de dinámica de fluidos (CFD) –¹¹⁶ permitía visualizar el comportamiento físico del edificio por medio de un modelo tridimensional, lo que a su vez permitió explorar alternativas formales en un contexto real. La posibilidad de usar un único modelo para la evaluación de la geometría y las prestaciones de un edificio facilitó considerablemente el intercambio de información entre los diversos profesionales.¹¹⁷

El fruto de la colaboración entre arquitectos e ingenieros fue una serie de edificios icónicos, cuya forma es visualmente atractiva, y al mismo tiempo eficiente en términos energéticos o estructurales. Estos edificios se inscriben en la tendencia de la arquitectura performativa, para la cual la *performance* es un concepto que comprende tanto las cualidades físicas y materiales (*performance* tecnológica) como las estéticas y simbólicas (*performance* cultural). El proceso de creación de la arquitectura performativa ha sido definido como “diseño performativo” –*performative design* (Oxman, 2006)–, y conlleva una revisión de la metodología del diseño basado en prestaciones, ya que no se intenta alcanzar una forma que cumpla con unos requisitos cuantitativos de las prestaciones, sino de elegir una forma teniendo en cuenta también otras características que difícilmente se pueden cuantificar.

¹¹⁵ Antoine Picon sostenía: “*Even if it [a computer-generated architectural form] appears as the most satisfying configuration for its designer, it remains the result of an arbitrary stop in an endless process of geometric transformation, the type of process that Greg Lynn calls ‘animation’. Architectural form becomes similar to a cross-section in a continuous geometrical flow. [...] New problems arise from this situation. There is a certain problem of aesthetic. How are we to judge the beauty of the blobs and all the other creatures that appear on our computer screen? Even when the projects are supposed to be realized in the physical world, even when they are actually built, this problem remains. Part of the problem is linked to an impression of arbitrariness. Why has the designer stopped the process of geometrical transformation at one stage and not the other? Justifications are not always visually evident. [...] In other words, nothing can now guarantee the designer that his project is the result of the best possible choice*” (Picon, 2003, pág. 303). Kenneth Frampton comentaba: “*The availability of digitally engineered, otherwise indeterminate geometric forms, such as the morphing of multiple hypersurfaces, now serves to facilitate the proliferation of hitherto unimaginable volumes. These volumes are inevitably comprised of doubly curved surfaces that require special forms of vertical and lateral support that are not always in evidence. We may even go so far as to assert that the presence or absence of these structural matrices – the way these curves come down to the ground – determines whether the work in question is fundamentally sculptural and figurative, and hence in the realm of modelling or, alternatively, whether it is structural and tectonic and hence within the province of architecture*” (Frampton, 2003, pág. 167).

¹¹⁶ Mientras que las herramientas de análisis estructural FEM permiten analizar el comportamiento de materiales, las herramientas de análisis de dinámica de fluidos computacional CFD permiten modelar el comportamiento de líquidos y gases, como el flujo de aire, la transferencia de calor de un edificio, las reacciones químicas (tales como la combustión) y la tensión o deformación de estructuras (fuego).

¹¹⁷ Desde finales de la década de 1990, se formaron diversos grupos de investigación multidisciplinarios (arquitectos, matemáticos, ingenieros, programadores y artistas) para potenciar el diseño integrado: en el año 1998 se fundó el *Specialist Modelling Group* (SMG) dentro de la firma Foster & Partners; en el año 2000 Cecil Balmond creó el *Advanced Geometry Unit* (AGU) dentro de ARUP.

En el Swiss Re Building de Londres (1994-2004), un edificio realizado por Norman Foster en colaboración de la empresa de ingeniería Arup, a partir de la información producida por medio del análisis CFD, se llegó a una forma que minimizaba el impacto del viento (Figura 41). Asimismo, la forma del Projekt ZED (1995), de Future Systems, fue generada gracias a la información proporcionada por el análisis CFD. El edificio debía ser energéticamente autosuficiente con la incorporación de células fotovoltaicas en las rejillas y con una turbina eólica colocada en un enorme agujero en el centro. Mediante el análisis se eligió una forma curva de la fachada que canalizase el viento hacia la turbina (Figura 41). La forma del Greater London Authority Headquarters (1998-2002), otro edificio nacido de la colaboración entre Norman Foster y Arup, se explica por su comportamiento térmico. Se trata de una esfera deformada (*blob*) que simula una gran lente que mira al Támesis y que a la vez puede verse desde el río para así simbolizar la participación de la ciudadanía en la gobernanza de la ciudad. La curvatura minimiza la superficie de exposición a la radiación solar directa, lo que permite mejorar el comportamiento térmico gracias al equilibrio entre ganancias y pérdidas de la carga térmica (Figura 41). Incluso el diseño de la envolvente es el resultado de un análisis de la incidencia solar.¹¹⁸

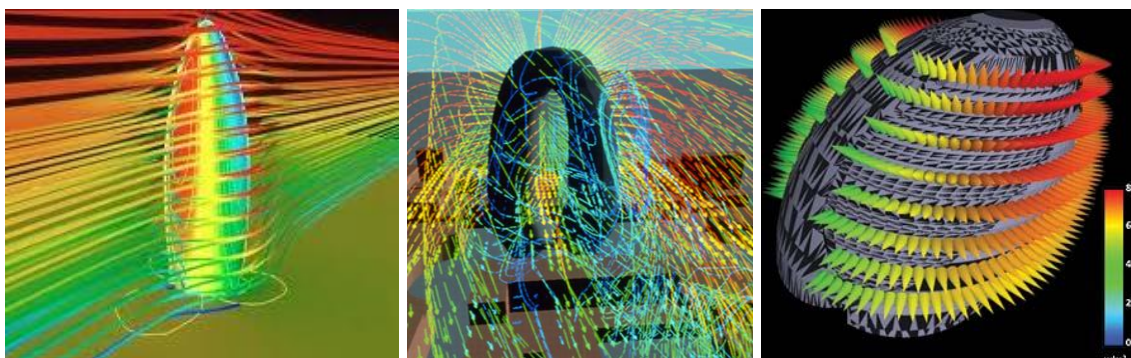


Figura 41. Análisis CFD: Swiss Re Building (1994-2004), Norman Foster; Projekt ZED (1995), Future Systems. Análisis incidencia solar: London City Hall (1998-2002), Norman Foster. Fuente: (Kolarevic, 2003).

Otros edificios reflejan el comportamiento estructural, hasta el punto de que la estructura se ha convertido en la misma forma. El British Museum Great Court Roof (1997–2000) de Norman Foster y Buro Happold, tiene una cubierta ligera de doble curvatura que se realizó aplicando una técnica de análisis estructural (*soap-film analysis*). Además, el entramado de esta membrana autoportante se obtuvo por medio de un algoritmo que permite variar la posición de los nudos, cuya distribución final se fijó a partir de una técnica de análisis (*dynamic relaxation technique*) (Figura 42). El pabellón temporal de la Serpentine Gallery, realizado en el Hyde Park de Londres (2002) por Toyo Ito en colaboración con Cecil Balmond (AGU, Arup), es un complejo entramado estructural diseñado por medio de un algoritmo generativo (*shape grammars*) que

¹¹⁸ Hugh Whitehead, miembro del SMG (*Specialit Modelling Group*) de Arup afirmaba: “[...] *there was a conflict between design and the outcome of the energy analysis. The solar study showed us that the glazing system had to change [...] so that the design of the glazing system would literally fit the energy analysis produced by Arup*” (Whitehead, 2014, p. 120).

permitted controlling the order behind the apparent chaos.¹¹⁹ Finally, thanks to analysis based on finite elements, the building adopted a hierarchical organization of beams with an increasing thickness from the center to the perimeter (Figure 43). In the same way, for the project of the Beijing National Stadium (2003-2008), the result of the collaboration between Herzog & de Meuron, the artist Ai Weiwei and the consultant Ove Arup, a genetic algorithm was used to generate various alternatives of the complex lattice of lines that represents a bird's nest (Figure 44). For the final configuration, however, it was essential to obtain information about the structural performance of the building.

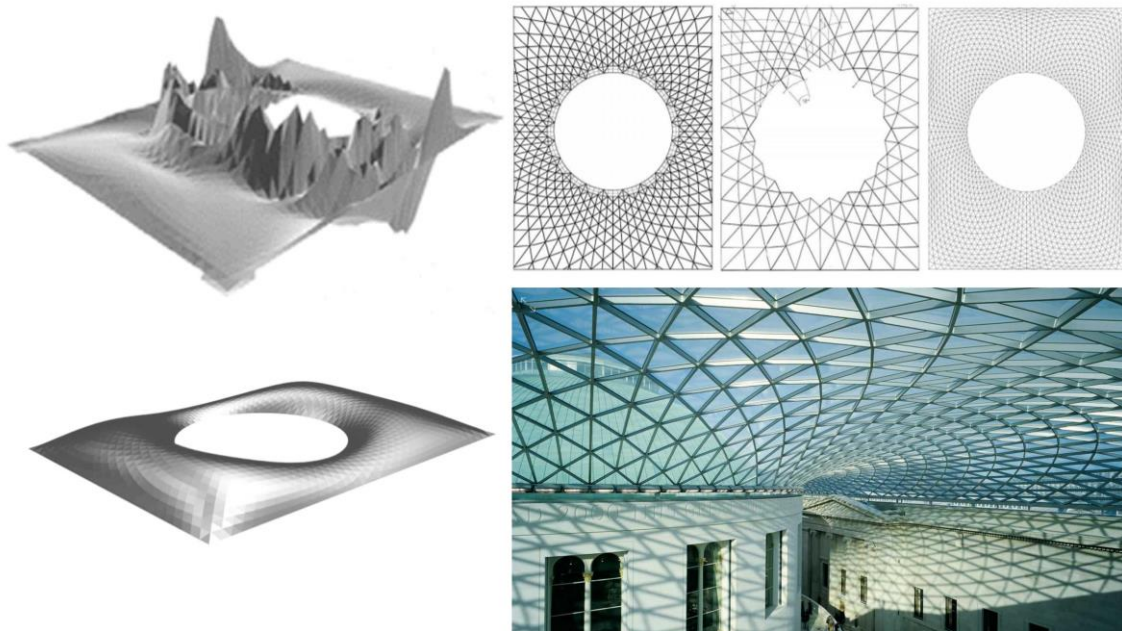


Figura 42. British Museum Great Court Roof (2000), Norman Foster. Evolución del entramado estructural y análisis de la estructura. Fuente: (Leach, Turnbull, & Williams, 2004).

¹¹⁹ Así lo explica Balmond: “*Our challenge became that of finding a rule, an algorithm that would generate that chaos with its intricate beauties, but with an underlying order that would allow the realization of the pavilion in fourteen weeks*” (AGU, 2008, p. 36).

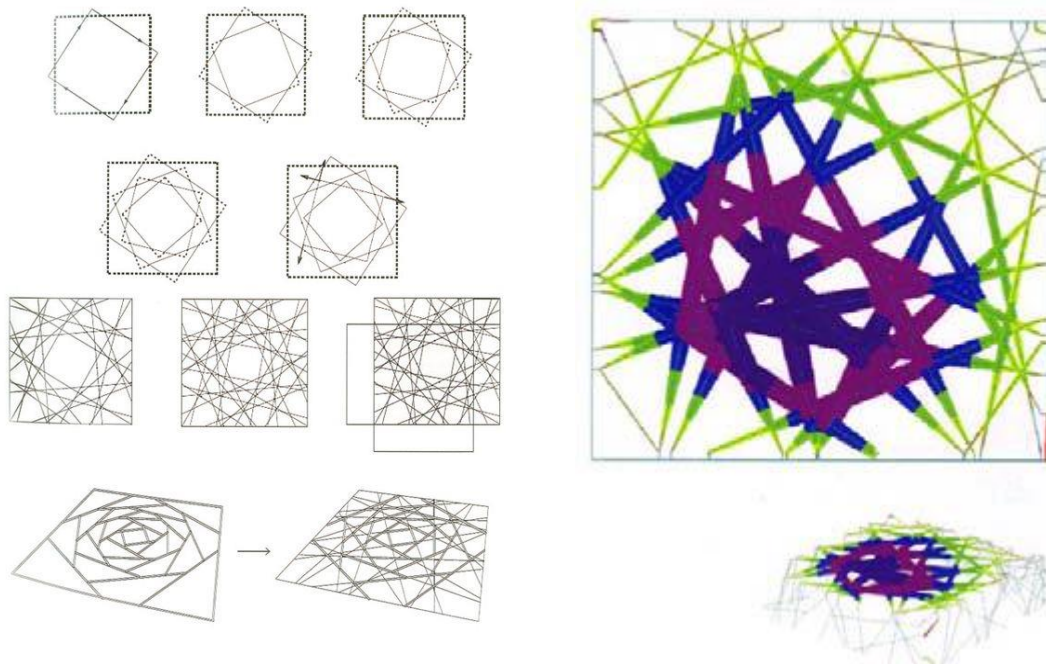


Figura 43. Serpentine Gallery (2002), Toyo Ito. Generación de la malla estructural. Fuente: (Sakamoto & Ferré, 2008). Análisis de la estructura. Fuente: (Ito & Balmond, 2002).

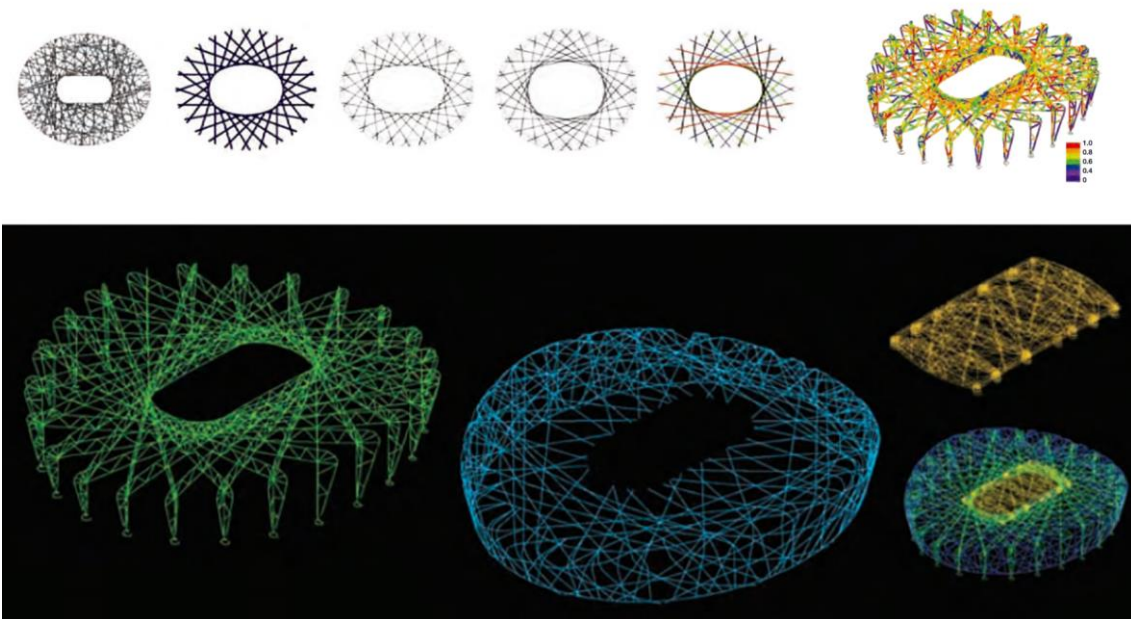


Figura 44. Beijing National Stadium (2008), Herzog & de Meuron. Evolución de la malla estructural, análisis estructural (FEM) y jerarquía de componentes. Fuente: (Brown, 2009).

En todos los ejemplos las formas de los edificios se justifican por la eficiencia de su comportamiento físico. En los proyectos ha sido fundamental aplicar la simulación para optimizar una forma con respecto a su comportamiento físico o energético. Más recientemente se ha planteado el reto de aplicar la simulación desde las primeras etapas del proyecto no tanto para optimizar una forma predefinida, sino para influir en su concepción. De hecho, muchos aspectos de un edificio que se deciden en las primeras

etapas del proceso de proyecto, como la distribución de espacios interiores y la circulación, quedaron fuera del alcance de las primeras implementaciones del diseño performativo. Para generar la forma a partir de su rendimiento se requerían otros sistemas con capacidad de informar un proceso generativo a partir de los datos de rendimiento del edificio. Con respecto a esto, Kolarevic afirmaba: *“The current building performance simulation software, however, operates at the systemic level in the same (passive) fashion as two or three decades ago. [...] Instead of being used in a passive ‘after-the-fact’ fashion, i.e., after the building form has been already articulated, as is currently the case, analytical computation could be used to actively shape the buildings in a dynamic fashion. [...] the new ‘performative’ approach to design requires, at a purely instrumental level, yet-to-be-made digital design tools that can provide dynamic processes of formation based on specific performative aspects of design”* (Kolarevic, 2003, págs. 47-49). El paso siguiente, por tanto, fue vincular las herramientas CAD/CAE de manera que pudiese haber un intercambio dinámico de información entre ellas (Figura 45). Esto implicó reconsiderar muchas técnicas desarrolladas en el seno de la automatización del proceso de creación, como los algoritmos evolutivos y las gramáticas formales, que se usaron como vínculo entre un modelo geométrico y uno analítico para constituir “sistemas generativos basado en prestaciones”.

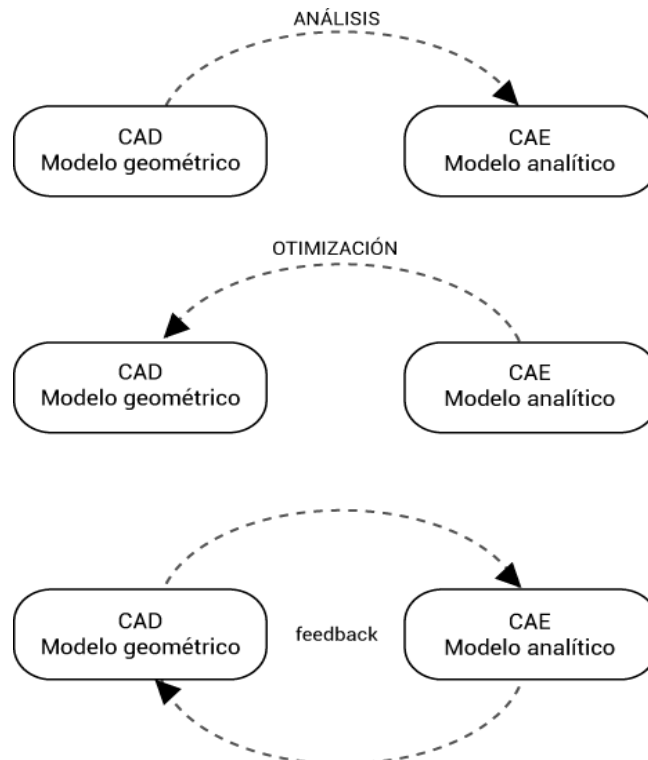


Figura 45. Relación entre las tecnologías CAD/CAE integradas para proporcionar al análisis, optimización y generación automatizada de la forma en base a sus prestaciones. Fuente: Gráfico de elaboración propia.

2.3 Conclusiones

En este capítulo se ha indagado la incidencia del concepto de *performance* en el corpus teórico de la arquitectura. En la primera parte del capítulo se ha mostrado que, desde mediados del siglo XIX, la terminología científica empezó a integrarse en la arquitectura con tal naturalidad que pasó prácticamente desapercibida. Durante la primera mitad del siglo XX la teoría de la forma estuvo dominada por el concepto de función, procedente de la biología; a partir de la segunda mitad el concepto de función fue sustituido por el de *performance*, que provenía de los ámbitos de la ingeniería de sistemas, la investigación operativa, la teoría de la información y la cibernética. Los conceptos de función y *performance* tuvieron recorridos similares en su asimilación por parte de la arquitectura, siendo usados al comienzo tal y como se entendían en sus ámbitos de procedencia, para luego ser empleados con un sentido completamente renovado, adaptado al discurso arquitectónico. De hecho, ambos conceptos acabaron por definir dos estilos arquitectónicos, el funcionalismo y el performatismo, capaces de representar dos épocas distintas, la modernidad y la posmodernidad. Sobre todo, estos dos conceptos llevaron a reconsiderar el concepto de forma en arquitectura que, como se ha visto, no puede entenderse como una idea fija y atemporal, sino que está sometido a permanente revisión y sometido a la influencia de disciplinas externas. Por tanto, se puede concluir que la arquitectura evoluciona como un saber interdisciplinar más que como una disciplina autónoma, pues se alimenta de los campos del conocimiento relacionados con un pensamiento dominante y a partir de allí construye y redefine su propio discurso. La arquitectura recibe influencias de aquellas disciplinas que son más productivas y dinámicas en un periodo determinado (biología, cibernética), pero también contribuye a estas disciplinas con sus propias aportaciones. A modo de ejemplo pueden citarse las nociones arquitectónicas que la ciencia ha usado repetidamente a lo largo de la historia. En su búsqueda de una ley del universo, los científicos de los siglos XVI y XVII se referían a los principios de orden y proporción, características genéricas de cualquier producción artística, y de la arquitectura clásica en particular. Hoy, el propio término arquitectura se usa para definir el diseño conceptual y la estructura operacional de un ordenador. Así, la arquitectura y las ciencias se retroalimentan a partir de un intercambio de conceptos e ideas. Sin embargo, paralelamente a esta influencia recíproca, se hace imprescindible mantener la independencia en cada ámbito. Hay por tanto dos sistemas de fuerzas en juego, uno que tiende a la interrelación y la asimilación de conceptos nacidos en otros ámbitos, y otro que intenta preservar la autonomía.

En la segunda parte del capítulo se ha argumentado que las principales ideas que llegan de campos del conocimiento ajenos a la arquitectura no son ideas abstractas, sino que se transmiten también por medio de técnicas e instrumentos, influyendo en el ámbito más operativo de la creación de la forma. Mirando hacia el pasado, la técnica de disección fue fundamental tanto para los biólogos como para los arquitectos del siglo XIX (la sección constructiva). Más tarde, la simulación, los mapas y los diagramas, que tuvieron su origen en el ámbito bélico, se desarrollaron posteriormente en el campo de la cibernética, hasta llegar a ser herramientas para el arquitecto del siglo XX. La arquitectura, por lo tanto, tiende a apropiarse de ciertos conceptos provenientes de otros ámbitos, pero también de las técnicas e instrumentos de otras disciplinas para adaptarlas

a sus propias necesidades. Este proceso de aplicación de herramientas de otros ámbitos a la arquitectura es también objeto de debate. Las técnicas y los métodos de la investigación operativa no permitían tener en cuenta aspectos idiosincráticos de la arquitectura, como los estéticos y simbólicos. También los métodos inspirados en la inteligencia artificial no tuvieron éxito en la práctica arquitectónica, pues simplificaban en exceso el concepto de forma y su concepción, mientras pasaban por alto la relación fundamental que existe entre la representación y la concepción de la forma. En consecuencia, se empezó a experimentar con sistemas de representación que provenían de otros ámbitos como la industria cinematográfica y aeroespacial, que fueron adaptados a la arquitectura con fines creativos. Estos sistemas basados en la interacción con el objeto diseñado en una pantalla, permitieron la producción de imágenes complejas y seductoras. Muchas de ellas quedaron circunscritas a la pantalla. Sin embargo, la posibilidad de integrar estas herramientas de representación con la simulación permitió la exploración de nuevas posibilidades formales a partir de comprender el funcionamiento material, físico y estructural del edificio. Este nuevo enfoque, el diseño performativo, favorecía un nuevo equilibrio entre la generación formal y el control de las prestaciones físicas del edificio. Pero, el diseño performativo se limitó a evaluar una forma desde el punto de vista holístico, no pudiendo aplicarse en su proceso de concepción. Así pues, comenzó a surgir una demanda de herramientas específicas para desarrollar el diseño performativo en la arquitectura. Esta demanda, que todavía hoy no se ha visto satisfecha, se empezó a responder con sistemas que automatizan el intercambio de información entre herramientas de análisis y técnicas generativas para retroalimentar el proceso de exploración formal con datos sobre el rendimiento del edificio desde las primeras etapas del proceso de proyecto. Estos sistemas, fundamento del “diseño generativo basado en prestaciones”, serán objeto de estudio en el capítulo siguiente.

Bibliografía

- Adorno, T. (1979). Functionalism Today. *Oppositions*, 17 , 30-41.
- AGU. (2008). Geometric Algorithm. In *From Control to Design. Parametric Algorithmic Architecture* (pp. 34-43). Barcelona: Actar.
- Alexander, C. (1963). HIDECS 3: Four Computer Programs for the Hierarchical Decomposition of Systems which have an Associated Linear Graph. *MIT Civil Engineering Systems Laboratory Research Report R63-27*.
- Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Alexander, C. (1971). The State of the Art in Design Methods. *DMG Newsletter*, 5(3), 3-7.
- Alexander, C. (1977). *A Pattern Language. Town, Buildings, Construction*. New York: Oxford University Press.
- Alexander, C. (1979). *The Timeless Way of Building*. New York: Oxford University Press.
- Alexander, C., & Manheim, M. (1962). HIDECS 2: A Computer Program for the Hierarchical Decomposition of a Set with an Associated Graph. *MIT Civil Engineering Systems Laboratory Publication*(160).
- Archea, J. (1987). Puzzle-Making: What Architects Do When No One’s Looking. En Y. Kalay, *Principles of computer-aided design: computability of design* (págs. 37-52). New York: Wiley.

- Banham, R. (1969). *The Architecture of the Well-tempered Environment*. London: The Architectural Press.
- Banham, R. (1976). *Megastructure: Urban Futures of the Recent Past*. London: Thames and Hudson.
- Bateson, G. (1972). *Step to an Ecology of Mind*. London: Jason Aronson.
- Bentley, P. (1999). *Evolutionary Design by Computers*. San Francisco: Academic Press/Morgan Kaufmann.
- Benton, T. (2008). *Le ville di Le Corbusier e Pierre Jeanneret 1920-1930*. Milano: Electa.
- Broadbent, G. (1976). *Diseño arquitectónico. Arquitectura y ciencias humanas*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Brown, D. (2009). *The Arup Journal-The Beijing National Stadium Special Issue*. London: Corporate Communications Group.
- Calduch, J. (2001). *Temas de Composición Arquitectónica: uso, y actividad, de la utilitas a la función*. Alicante: Editorial Club Universitario.
- Campbell, C. (1715). *Vitruvius Britannicus*. London.
- Campo, M. (2004). Ten Years of Folding. *Architectural Design. Folding in Architecture*, 14-19.
- Carrara, G., Kalay, Y., & Novembri, G. (1994). Knowledge-based computational support for architectural design. *Automation in Construction* 3(2-3), 157-175.
- Chomsky, N. (1957). *Syntactic Structures*. Paris: Mouton.
- Coleridge, S. T. (1849). *Notes and Lectures upon Shakespeare and some of the Old Poets and Dramatist with Other Literary Remains*. London: William Pickering.
- Collins, P. (1965). *Changing Ideals in Modern Architecture 1750-1950*. Kingston and Montreal: McGill-Queen's University Press.
- Collins, P. (1971). *Architectural Judgement*. Montreal: McGill-Queen's University Press.
- Colquhoun, A. (1967). Typology and Design Method. *Arena: Journal of the Architectural Association*, 83, 11-14.
- Cook, P. (1999). *Archigram*. New York: Princeton Architectural Press.
- Cuvier, G. (1805). *Leçons d'Anatomie Comparée*. Paris: Baudouin.
- Cuvier, G. (1812). *Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes*. Paris: Chez Deterville.
- Cuvier, G. (1817). *Le Règne Animal*. Paris: Deterville.
- Dave, B., Schmitt, G., Shen-Guan, S., Bendel, L., Faltings, B., & Smith, I. (1994). Case-based Spatial Design Reasoning. *Proceedings of the Second European Workshop on Case-Based Reasoning*, (págs. 115-123). Chantilly.
- Dawson, J. (1961). The Computer in Building Design. *Architectural and Engineering News*(12), 14-19.
- De Zurco, E. (1957). *Origin of Functionalist Theory*. New York: Columbia University Press.
- Deleuze, G. (1992). *The Fold: Leibniz and the Baroque*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- DPA. (2011). *Mat-Building*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Duerk, D. P. (1993). *Architectural Programming: Information Management for Design*. New York: John Wiley.
- Eastman, C. (1971). GSP: A System for Computer Assisted Space Planning. *Proceedings of the June 1971 Design Automation Workshop on Design Automation*, (págs. 208-220). Atlantic City.
- Eberhard, J. (1962). A Computer-Based Building Process: Its Potentials for Architecture. *Architecture and Engineering News* 4, 16-18.

- Edler, J. (2005). Communicative Display Skin for Buildings: Bix at the Kunsthaus Graz. En B. Kolarevic, *Performative Architecture. Beyond Instrumentality* (págs. 150-160). New York: Spon Press.
- Eisenman, P. (1971). From Object to Relationships II: Giuseppe Terragni Casa Giuliani Frigerio. *Perspecta*, 36-61.
- Eisenman, P. (1975). Cardboard Architecture: House I. En P. Eisenman, *Five Architects: Eisenman, Graves, Gwathmey, Hejduk, Meier* (págs. 10-13). New York: Oxford University Press.
- Fleisher, A. (1992). Grammatical Architecture? *Environment and Planning B: Planning and Design*(19), 221-226.
- Flemming, U. (1978). Representation and Generation of Rectangular Dissections. *15th Conference on Design Automation*, (págs. 138-144). Las Vegas.
- Flemming, U. (1987). The Architecture of Giuseppe Terragni. *Environmental and Planning B*, 8, 87-96.
- Flemming, U. (1994). Get with the program: common fallacies in critiques of computer-aided architectural design. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 21, 106-116.
- Flemming, U., Coyne, R., & Woodbury, R. (1993). SEED: A Software Environment to Support the Early Phases in Building Design. *Proceedings of the IV International Conferences on Computer Aided Design in Architecture and Civil Engineering*, (págs. 111-122). Barcelona.
- Fonseca, C., & Fleming, P. (1993). Genetic Algorithm for Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization. *Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms* (págs. 413-423). Champaign: Morgan Kaufmann Publishers.
- Forty, A. (2000). *Words and buildings: a vocabulary of modern architecture*. London: Thames and Hudson.
- Frampton, K. (1980). *Modern Architecture: A Critical History*. New York: Thames and Hudson.
- Frampton, K. (2003). Organic Organ-i-city. En D. Gans, & Z. Kuz, *The organic approach to architecture* (págs. 161-8). Chichester: Wiley-Academy.
- Frazer, J. (1995). *An Evolutionary Architecture*. London: Architectural Association.
- Friedman, Y. (2006). *Pro Domo*. Barcelona: Actar.
- Gero, J. (April de 1980). Computer-aided design by optimization in architecture. *Journal of Design Studies*, 1, 227-230.
- Gero, J. (1985). Expert system in CAD. *Computer Aided Design*, 529-546.
- Gero, J. (1990). Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design. *AI Magazine*, 11(4), 26-36.
- Gero, J., & Kazakov, V. (1996). Evolving Building Blocks for Design using Genetic Engineering: a Formal Approach. *Advances in Formal Design Methods for CAD* (págs. 31-50). London: Chapman an Hall.
- Gero, J., & Maher, M. L. (1988). Designing with Prototypes. *ICED88*, (págs. 74-81). Zürich.
- Giedion, S. (1941). *Space, Time and Architecture*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Gleiniger, A., & Vrachliotis, G. (2009). *Pattern: Ornament, Structure and Behaviour*. Basel: Birkhäuser.
- Goel, A., Kolodner, J., Pearce, M., Billington, R., & Zimring, C. (1991). *ARCHIE: A case-based architectural design system*. Atlanta: College of Computing, Georgia Institute of Technology.

- Goldschmidt, G. (1991). The dialectics of sketching. *Design Studies*, 4, 123–143.
- Greenough, H. (1843). *Form and Function: Remarks on Art, Design, and Architecture*. Berkeley: University of California Press.
- Grobman, Y., & Neuman, E. (2011). *Performatism: Form and Performance in Digital Architecture*. New York: Routledge.
- Habraken, J. (1972). *Supports, an Alternative to Mass Housing*. London: Architectural Press.
- Heidegger, M. (1971). Building, Dwelling, Thinking. En *Poetry, Language, Thought* (págs. 141-160). New York: Harper & Row Publishers.
- Herbert, D. (1993). *Architectural Study Drawings*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Hertzberger, H. (1991). *Lessons for students in architecture*. Rotterdam: 010 Publishers.
- Hitchcock, H.-R., & Johnson, P. (1932). *The International Style*. New York: Norton & Company.
- Ianni, M. (2010). *Estudio de los conceptos fundamentales en la teoría de Christopher Alexander*. (DEA). Ingeniería i Arquitectura La Salle, Universidad Ramon Llull, Barcelona.
- Ito, T., & Balmond, C. (2002). *Serpentine Gallery Pavilion 2002: Toyo Ito with Arup*. Tokyo: Telescoweb.
- Jones, J. C. (1977). How my thoughts about design methods have changed during the years. *Design methods and Theories*, 11(1), 48-62.
- Kalay, Y. (1999). Performance-based design. *Automation in Construction*(8), 395–409.
- Kalay, Y. (2004). *Architecture's new Media. Principles, Theories, and Methods of Computer-Aided Design*. Massachusetts: The MIT Press.
- Kimball, F., & Edgell, G. (1918). *A History of Architecture*. New York: Harper & Brothers.
- Kloft, H. (2005). Non-Standard Structural Design for Non-Standard Architecture. En B. Kolarevic, *Performative Architecture. Beyond Instrumentality* (págs. 135-148). New York: Spon Press.
- Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York: Spon Press.
- Kolarevic, B. (2003). Back to Future: Performative Architecture. *International Journal of Architectural Computing*, 43-50.
- Kolarevic, B. (2005). Towards the Performative in Architecture. En B. Kolarevic, *Performative Architecture: Beyond Instrumentality* (págs. 205-213). New York: Spon Press.
- Kolodner, J. (1993). *Case-Based Reasoning*. San Mateo: Morgan Kaufmann.
- Koning, H., & Eizenberg, J. (1981). The language of the prairie: Frank Lloyd Wright's prairie houses. *Environment and Planning B*, 8(3), 295–323.
- Laseau, P. (1980). *Graphic Thinking for Architects and Designers*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Lawson, B. (1980). *How Designers Think*. Oxford: Elsevier.
- Le Corbusier. (1947). Plan Director para Buenos Aires. *La Arquitectura de Hoy*(4), 2-53.
- Le Corbusier. (1958). *Hacia una arquitectura*. Barcelona: Apóstrofe.
- Le Corbusier. (1960). *My Work*. London.
- Le Corbusier. (1979). *Precisiones respecto a un estado actual de la arquitectura y el urbanismo*. Barcelona: Poseidon.
- Le Corbusier. (2008). *Mensaje a los Estudiantes de Arquitectura*. Buenos Aires: Ediciones Infinito.
- Leach, N. (2008). New Materialism. *(Im)material Processes: New Digital Techniques for Architecture*, 6-15.
- Leach, N., Turnbull, D., & Williams, C. (2004). *Digital Tectonics*. London: Wiley-Academy.

- Lee, K. (1973). *Computer Aided Architectural Design-16 ARK-2 Articles*. Boston: Environmental Design and Research Center.
- Levit, R. (2008). Contemporary Ornament: the Return of the Symbolic Repressed. *Harvard Design Magazine*, 1-8.
- Lin, V., Gossard, D. C., & Light, R. (1981). Variational Geometry in Computer Aided. *Proceeding SIGGRAPH '81 Proceedings of the 8th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (págs. 171-177). New York: ACM.
- Littlewood, J. (1964). A Laboratory of Fun. *New Scientist*, 432-433.
- Loos, A. (1970). Ornament and Crime. En C. Ulrich, *Programs and Manifestoes on 20th-century Architecture* (págs. 19-24). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Lynn, G. (1993). Architectural Curvilinearity: the Folded, the Pliant and the Supple. *Architectural Design-Folding in Architecture*(102), 8-15.
- Lynn, G. (1996). Blobs (or Why Tectonics is Square and Topology is Groovy). *ANY*(14), 58-62.
- Lynn, G. (1999). *Animate Form*. New York: Princeton Architectural Press.
- Lynn, G. (2004). The Structure of Ornament. En N. Leach, D. Turnbull, & C. Williams, *Digital Tectonics* (págs. 62-69). Chichester: Wiley Academy.
- Madrazo, L. (1995). *The Concept of Type in Architecture. An Inquiry into the Nature of Architectural Form*. (Ph.D. dissertation). Swiss Federal Institute of Technology, Zürich.
- Madrazo, L., Cojo, A. M., Sicilia, Á., & Costa, G. (2010). BARCODE Housing System: Applying ITC to Open Building an Mass Housing. *16th International Conference Open and Sustainable Building*, (págs. 275-288). Bilbao.
- Maher, M. L., & Zhang, D. M. (1991). CADSYN: Using case and decomposition knowledge for design synthesis. En J. Gero, *Artificial Intelligence in Design '91* (págs. 137-150). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- March, L. (1976). *The Architecture of Form*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Markus, T. (1969). The role of building performance measurement and appraisal in design method. En G. Broadbent, & A. Ward (Edits.), *Design Methods in Architecture* (págs. 109-117). New York: Wittenborn.
- Martín Cojo, Á. (2010). *Patrones y sistemas en el diseño arquitectónico, estudio comparado de la teoría de los Soportes de Habraken y el Lenguaje de Patrones de Alexander*. (DEA). Ingeniería i Arquitectura La Salle, Universidad Ramon Llull, Barcelona.
- Matthew, K. (2015). *Studio Air*. Melbourne: The University of Melbourne.
- Maver, T. (1970). Appraisal in the Building Design Process. En G. Moore, *Emerging Methods in Environmental Design and Planning* (págs. 195-201). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- McCullough, M. (2006). 20 Years of Scripted Space. *AD- Programming Cultures*, 12-15.
- Milne, M. (1970). CLUSTR: A Structure Finding Algorithm. *Emerging Methods in Environmental Design and Planning* (págs. 126-132). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Mitchell, W. (1973). Vitruvius Computatus. *Environmental Design Research, Proceedings of EDRA 4 Conference* (págs. 384-386). Stroudsborg: Dowden, Hutchinson and Ross.
- Mitchell, W. (1977). *Computer-aided Architectural Design*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Mitchell, W. (1990). *The Logic of Architecture. Design, Computation, and Cognition*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Mitchell, W., Liggett, R., & Kvan, T. (1987). *The Art of Computer Graphics Programming: A Structures Introduction for Architects and Designers*. New York: Van Nostrand Reinhold.

- Mitchell, W., Liggett, R., & Tan, M. (1988). The Topdown System and its Use in Teaching. An exploration of structured, knowledge-based design. *Proceedings of the Association of Computer-aided Design in Architecture*, (págs. 251-262). Gainesville.
- Mitchell, W., Liggett, R., & Tan, M. (1990). Top-Down Knowledge-Based Design. En M. McCullough, W. Mitchell, & P. Purcell, *The Electronic Design Studio* (págs. 137-148). Cambridge, Massachusetts, London: The MIT Press.
- Mitchell, W., Steadman, P., & Liggett, R. (1976). Synthesis and Optimisation of Small Rectangular Plans. *Environment and Planning B*, 3, 37-70.
- Monedero, J. (1999). *Aplicaciones informáticas en arquitectura*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Moussavi, F. (2009). *The Funtion of Form*. Barcelona: Actar.
- Moussavi, F., & Kubo, M. (2006). *The Function of Ornament*. Barcelona: Actar.
- Navinchandra, D. (1988). Case-based reasoning in CYCLOPS, a design problem solver. *Proceedings of the DARPA Workshop on Case-Based Reasoning* (págs. 286-301). San Mateo: Morgan Kaufmann.
- Oxman, R. (1997). Design by re-representation: a model of visual reasoning in design. *Design Studies*, 18, 329-347.
- Oxman, R. (2006). Theory and Design in the First Digital Age. *Design Studies*, 27, 229-265.
- Oxman, R., & Gero, J. (1988). Designing by Prototype Refinement in Architecture. *CMP*, (págs. 395-412). Amsterdam.
- Oxman, R., & Oxman, R. (1991). Refinement and Adaptation: Two Paradigms of Form Generation in CAAD. En G. Schmitt (Ed.), *Proceedings of Computer Aided Architectural Design Futures 91*, (págs. 313-328). Zurich.
- Ozenfant, A., & Jeanneret, C. E. (1918). *Après le cubisme*. París: Éditions des Commentaires.
- Palladio. (1581). *I quattro libri dell'architettura*. Venezia: Bartolomeo Carampello.
- Pask, G. (1969). The Architectural Relevance of Cybernetics. *Architectural Design*, 494-496.
- Peña, W., & Parshall, S. (1969). *Problem Seeking*. New York: John Wiley & Sons.
- Perrella, S. (1998). Hypersurface Theory: Architecture Culture. *Architectural Design*, 7-15.
- Picon, A. (2003). Architecture, science, technology and the virtual realm. En A. Picon, & A. Ponte, *Architecture and the Sciences Exchanging metaphors* (págs. 292-313). New York: Princeton Architectural Press.
- Picon, A. (2010). *Digital Culture in Architecture*. Basel: Birkhäuser.
- Picon, A. (2013). *AD Primers. Ornament: The Politics of Architecture and Subjectivity*. Chichester: Wiley.
- Quatremère de Quincy, A. C. (1788-1825). *Encyclopédie Méthodique*. París: Panckoucke.
- Rapoport, A. (1969). Facts and models. *Design Method in Architecture* (págs. 136-146). New York: Lund Humphries.
- RIBA. (1963). *Plan of Work for Design Team Operation*. London: RIBA.
- Riesbeck, C., & Schank, R. (1989). *Inside Case-Based Reasoning*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rittel, H. (1972). Son of Rittelthink: The State of the Art in Design Methods. *The DMG 5th Anniversary Report. DMG Occasional Paper(1)*, 143-147.
- Rocker, I. (2006). Calculus-Based Form: An Interview with Greg Lynn. *Architectura Design: Programming cultures*, 88-95.
- Rocker, I. (2006). When Code Matters. *AD Programming Culture*, 16-25.
- Rogers, E. N. (1955). Le preesistenze ambientali e i temi pratici contemporanei. *Casabella Continuitá*(204), 1-6.
- Rosenman, M. (1996). The Generation of Form Using an Evolutionary Approach. *Artificial Intelligence in design*, 643-662.

- Rosenman, M. (1997). An exploration into evolutionary models for non-routine design. *Artificial Intelligence in Engineering*, 11(3), 287–93.
- Rosenman, M., & Gero, J. (1999). Evolving designs by generating useful complex gene structures. En P. Bentley, *Evolutionary Design by Computers* (págs. 345-60). San Francisco: Academic Press/Morgan Kaufmann.
- Rossi, A. (1966). *L'architettura della città*. Padova: Marsilio.
- Rowan, J. (1967). Performance Design. *Progressive Architecture*, 105-115.
- Sakamoto, T., & Ferré, A. (2008). *From control to design : parametric/algorithmic architecture*. Barcelona: ACTAR.
- Salazar, J. (2001). *Verb Processing: Architecture Boogazine*. Barcelona: Actar.
- Sanoff, H. (1977). *Methods of Architectural Programming*. Dowden: Hutchinson & Ross.
- Sartoris, A. (1932). *Gli elementi dell'architettura funzionale*. Milano: Hoepli.
- Schank, R., & Abelson, R. (1977). *Scripts, Plans, Goals and Understanding: an Inquiry into Human Knowledge Structures*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Schlegel, A. W. (1815). *Course of Lectures on Dramatic Art and Literature*. Philadelphia: Hogan and Thompson.
- Semper, G. (1989). *The Four Elements of Architecture and Other Writings*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Semper, G. (2004). *Style in the Technical and Tectonic Arts; or, Practical Aesthetics*. Los Angeles: Getty Research Institut.
- Shane, G. (1976). Contextualism. *Architectural Design*(11), 676-79.
- Smithson, A., & Smithson, P. (1957). Cluster City: A New Shape for the Community. *Architectural Review*, 122, 333-336.
- Smithson, A., & Smithson, P. (1968). *Team 10 Primer*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Smithson, A., & Smithson, P. (1974). How to Recognise and Read Mat-Building. Mainstream Architecture as it has Developed Towards the Mat-Building. *Architectural Design*(9), 573-574.
- Spillers, W. (1974). Some Problems of Structural Design. En W. Spillers, *Basic Questions of Design Theory* (págs. 103–17). Amsterdam: North-Holland Pub. Co.
- Steadman, P. (1976). Graph-theoretic representation of architectural arrangement. En L. March, *The Architecture of Form* (págs. 94-115). Cambridge: Cambridge University Press.
- Steadman, P. (1979). *The Evolution of Designs. Biological Analogy in Architecture and the Applied Arts*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Steadman, P. (1983). *Architectural morphology. An introduction to the geometry of building plans*. London: Pion.
- Steadman, P. (2014). Generative Design Methods & the Exploration of Worlds of Formal Possibility. *Architectural Design. Empathic Space: The Computation of Human-Centric Architecture*, 84(5), 24-31.
- Stiny, G., & Gips, J. (1972). Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture. *Proceedings of IFIP Congress 1971* (págs. 125-135). Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Stiny, G., & Mitchell, W. (1978). The Palladian Grammar. *Environment and Planning B*, 5(1), 5–18.
- Sudjic, D. (2003). Urban Icon. *Domus*, 863, 64-83.
- Sullivan, L. (1896). The Tall Office Building Artistically Considered. *Lippincott's Magazine*, 403-415.
- Sullivan, L. (1924). *A System of Architectural Ornament*. New York: Press of the American Institute of Architects.

- Sullivan, L. (1924). *Autobiography of an Idea*. New York : American Institute of Architects.
- Sullivan, L. (1947). *Kindergarten Chats (revised 1918) and Other Writings* . New York: Wittenborn & Schultz.
- Sutherland, I. E. (1963). *Sketchpad: A man-machine graphical communication system*. MIT.
- Tan, M. (1987). Miesing About - a computer program to investigate parametric variation of the 'Project for a Brick Country House', 1923, by Mies van der Rohe. *Unpublished project*.
- Team10. (1982). The 10th Congress of CIAM, Dubrovnik, August 1956. En A. Smithson, *The Emergence of Team 10 out of CIAM: Documents* (pág. 73). London: Architectural Association.
- Terzidis, K. (2006). *Algorithmic Architecture*. Oxford: Elsevier.
- Van der Ryn, S. (1966). Problems and Puzzles. *AIA Journal*, 37-42.
- Venturi, R., & Scott Brown, D. (1972). *Learning from Las Vegas*. Cambridge: MIT Press.
- Viollet-le-Duc, E. E. (1854). *Dictionnaire raisonné de l'Architecture Française du XI au XVI siècle*. Paris: B. Bance.
- Viollet-le-Duc, E. E. (1863). *Entretiens sur l'architecture* (Vol. 1). Paris: A. Morel et cie.
- Ward, A. (1969). Introduction. *Design Methods in Architecture* (págs. 10-14). London: Lund Humphries.
- White, E. (1972). *Introduction to Architectural Programming*. Tucson, Arizona: Architectural Media.
- Whitehead, H. (2014). Laws of Form. In R. Oxamn, & R. Oxman, *Theories of the Digital Architecture* (pp. 113-130). London: Routledge.
- Woodbury, R. (1989). A genetic approach to creative design. En J. Gero, & M. L. Maher, *Modeling Creativity and Knowledge-Based Creative Design* (págs. 211-232). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Wright, F. L. (1931). *Modern Architecture: Being the Kahn Lectures for 1930*. Princeton: Princeton University Press.
- Wright, F. L. (1939). *An Organic Architecture: The Architecture of Democracy* . London: Lund Humphries & Co.
- Wright, F. L. (1943). *An Autobiography*. New York: Duell, Sloan & Pearce.
- Wright, F. L. (1953). *The Future of Architecture*. New York: Horizon Press.
- Zevi, B. (1948). *Saper vedere l'architettura*. Torino: Einaudi.
- Zevi, B. (1979). *Frank Lloyd Wright*. Bologna: Zanichelli.