

Mario Andres Bonilla-Vallejo

Magister Scientiae, Estudiante de doctorado, Instituto de Arquitectura y Urbanismo
Universidade de Sao Paulo
Sao Paulo, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-8817-929X>
mariovallejo@usp.br

Marcelo Tramontano

Doctor en en Arquitectura y Urbanismo. Profesor Asociado, Instituto de Arquitectura y Urbanismo
Universidade de Sao Paulo
Sao Paulo, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-0044-4432>
tramont@sc.usp.br

ARTICULACIÓN DE PROCESOS DE DISEÑO, COMPUTACIÓN, CIBERNÉTICA Y BIM: UNA RETROSPECTIVA

ARTICULATION OF DESIGN PROCESSES, COMPUTING, CYBERNETICS, AND BIM: A RETROSPECTIVE

ARTICULAÇÃO DE PROCESSOS DE PROJETO, COMPUTAÇÃO, CIBERNÉTICA E BIM: UMA RETROSPECTIVA

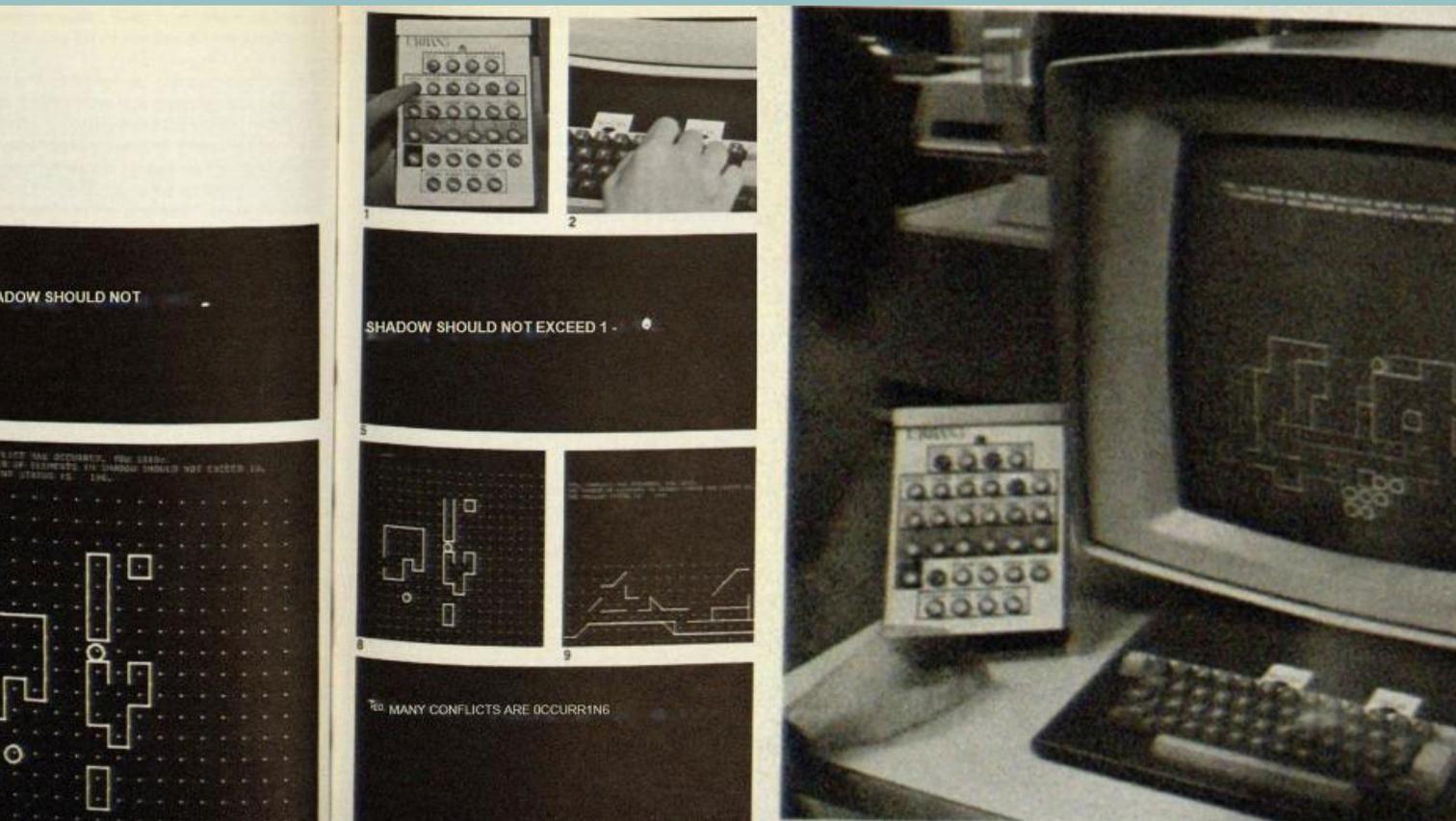


Figura 0. Software URBAN5.
Fuente: Adaptado de Negroponte, 1970.

Artículo financiado por CAPES a través del PROEX (Programa de Excelência Acadêmica) código 88887.817168/2023-00.

RESUMEN

El artículo explora el desarrollo histórico y teórico del *Building Information Modeling* (BIM) y de los procesos de diseño que este conlleva. El estudio deriva de una investigación de doctorado y tiene como objetivo construir una comprensión ampliada del proceso de informatización del pensamiento arquitectónico que condujo al BIM, considerando aportes del campo de la Cibernética y de las Ciencias de la Computación. Se profundiza en el contexto histórico del siglo XX y se destacan los avances paralelos e interdependientes en la Arquitectura, la Cibernética y la Computación. Basado en una revisión bibliográfica, análisis retrospectivo y teórico, el artículo hace hincapié en las contribuciones de trabajos que sistematizaron procesos de diseño e introdujeron abordajes metodológicos sistémicos que valoran la declaración y estructuración de las informaciones de diseño y que también contribuyeron tanto para la incorporación de la computación en los procesos de diseño, como para su desarrollo. El texto presenta las contribuciones de instituciones de investigación del Reino Unido y Estados Unidos en el desarrollo de bases computacionales para la arquitectura, recalcando que la diversidad geográfica de los avances en el campo va más allá de estos dos ejes. Tales programas computacionales, influenciados por las teorías cibernéticas, se centraron en crear modelos y sistemas para la descripción de la información, siendo cruciales para el avance del BIM. Por fin, se señala la importancia de la traducción del pensamiento arquitectónico en información estructurada para ser procesado por bases computacionales, incluyendo aquellas de base BIM. Se concluye reforzando que, aunque el BIM y los actuales procesos de diseño informatizados provengan de un amplio contexto histórico y geopolítico del siglo XX, involucrando investigaciones teóricas, militares y profesionales, su desarrollo fue guiado para asistir la producción de modelos de arquitectura norte-atlánticos.

Palabras clave: cibernética, diseño arquitectónico, diseño digital, historia, informatización

ABSTRACT

This article explores the historical and theoretical developments of Building Information Modeling (BIM) and the associated design processes. The study stems from ongoing doctoral research and aims to build an expanded understanding of the informatization process of architectural thought that led to BIM, considering contributions from the Cybernetics and Computing fields. The paper looks into the historical context of the 20th century and highlights the parallel and interdependent developments in Architecture, Cybernetics, and Computer Science. Based on a bibliographic review, retrospective, and theoretical analysis, this article emphasizes the contributions of works that systematized design processes and introduced systemic methodological approaches. Those works acknowledge the value of declaration and structuring of design information and contribute to incorporating computing into design processes and their development. The work presents the contributions of research institutions from the United Kingdom and the United States in developing computer programs for architecture, emphasizing that the geographical diversity of advancements in the field goes beyond these two lines. These computer programs were influenced by cybernetic theories, which were crucial for BIM development, and were created to produce models and systems to describe information. Finally, the importance of translating architectural thought into structured data that might be processable through computer programs, including BIM software, is highlighted, concluding that although BIM and developments of the current digital design processes followed the goal of assisting the production of North Atlantic architectural models, they originated from a broad and diverse historical and geopolitical context of the 20th century, involving theoretical, military, and professional research

Keywords: cybernetics, architecture design, digital design, history, informatization

RESUMO

O artigo explora o desenvolvimento histórico e teórico do *Building Information Modelling* (BIM) e dos processos de projeto envolvidos. O estudo deriva de uma pesquisa de doutorado e tem como objetivo construir uma compreensão ampliada do processo de informatização do pensamento arquitetônico que levou ao BIM, considerando as contribuições do campo da cibernética e da ciência da computação. Ele se aprofunda no contexto histórico do século XX e destaca os desenvolvimentos paralelos e interdependentes da arquitetura, da cibernética e da ciência da computação. Com base em uma revisão da literatura, análise retrospectiva e teórica, o artigo enfatiza as contribuições de trabalhos que sistematizaram os processos de projeto e introduziram abordagens metodológicas sistêmicas que valorizam a declaração e a estruturação das informações de projeto e que também contribuíram para a incorporação da computação nos processos de projeto e seu desenvolvimento. O texto apresenta as contribuições das instituições de pesquisa do Reino Unido e dos EUA para o desenvolvimento de fundamentos computacionais para a arquitetura, enfatizando que a diversidade geográfica dos avanços no campo vai além desses dois eixos. Esses softwares, influenciados por teorias cibernéticas, concentraram-se na criação de modelos e sistemas para a descrição de informações, sendo cruciais para o avanço do BIM. Por fim, aponta-se a importância de traduzir o pensamento arquitetônico em informações estruturadas a serem processadas por bases computacionais, inclusive as baseadas em BIM. Conclui-se reforçando que, embora o BIM e os atuais processos de projeto baseados em computador tenham origem em um amplo contexto histórico e geopolítico do século XX, envolvendo pesquisas teóricas, militares e profissionais, seu desenvolvimento foi orientado para auxiliar a produção de modelos arquitetônicos norte-atlânticos.

Palavras-chave: cibernética, projeto arquitetônico, projeto digital, história, informatização

INTRODUCCIÓN

1 La Cibernética de Primer Orden trata sobre el estudio de los principios de organización, control y comunicación de un sistema, sin preocuparse tanto en la constitución del sistema y sí con su funcionamiento (Wiener, 1948).

2 La Cibernética de Segundo Orden consiste en el estudio de los sistemas en observación, considerando el observador como parte del sistema observado y admitiendo su interferencia en la organización de las partes (Foerster, 1974).

3 La Teoría de la Conversación explora la dinámica de la interacción y el aprendizaje a través de conversaciones, enfatizando los procesos circulares causales, basados en la retroalimentación inherente a estas interacciones (Pask, 1976).

4 La Teoría General de Sistemas estudia las relaciones entre las partes y entre el todo y las partes que lo componen (Bertalanffy, 1976). El biólogo austriaco Ludwig von Bertalanffy desarrolló sus ideas a partir de la década de 1930, publicando el primer artículo sobre el asunto en 1948 y la primera edición de la Teoría General de Sistemas en 1968.

5 La Teoría Matemática de Comunicación se enfoca en la transmisión de mensajes con la menor pérdida de información, considerando el ruido en el canal de transmisión (Shannon, 1948).

6 La Teoría de la Complejidad es un abordaje multidimensional e integrativo no reduccionista que reconoce la complejidad planetaria, la incerteza y la condición de interdependencia de la realidad social (Morin, 1977; 2011). El antropólogo, sociólogo y filósofo francés, Edgar Morin, publicó el primer libro sobre el asunto en 1977, fundamentándose, entre otros postulados y campos de estudio, en principios cibernéticos y sistémicos.

Para entender el proceso de informatización del pensamiento arquitectónico que condujo a la formulación y desarrollo del *Building Information Modeling* (BIM) y a los procesos de diseño que este conlleva, se debe comprender el escenario de paralelismos e interdependencias de los avances teóricos, computacionales y de procesos de diseño arquitectónico del siglo XX. El pensamiento arquitectónico referido se trata de aquel estructurado bajo metodologías de diseño que involucran rutinas y dinámicas específicas de declaración y uso de informaciones de diseño, afiliado a las visiones de arquitectos como Christopher Alexander (1965; 1977), Lucian Kroll (1994), Nicolaas John Habraken (1961; 1996), Yona Friedman (1971; 1973), Charles Eastman (1972) o grupos y movimientos como Archigram (Sadler, 2005) y Metabolistas (Frampton, 2003; Rocha, [s.d.]), que sistematizaron procesos de diseño, a través de investigación y experimentos. Además, introdujeron abordajes sistémicos que valoran la organización y estructuración de las informaciones del diseño, explorando la idea de sistemas abiertos y flexibles que permiten la adaptación y evolución continua de los diseños arquitectónicos.

Dubberly y Pangaro (2015) realizaron un cuidadoso cruzamiento entre los trayectos de la cibernética, la computación, la contracultura y el *design*, identificando e ilustrando un amplio tejido de articulaciones e interdependencias. Aunque la reflexión aquí propuesta se desarrolla de manera similar a la de Dubberly y Pangaro (2015), en el presente trabajo se examinaron los trayectos articulados del campo de la Cibernética con los avances del campo de los Procesos de diseño arquitectónico y Computación. Esto con el objetivo de construir una comprensión compleja —en términos de Morin (2011)— del proceso de informatización del pensamiento arquitectónico que condujo a la formulación y desarrollo del BIM y a los procesos de diseño que este presupone. Para tal, adoptando un enfoque retrospectivo, se realizó una revisión bibliográfica, rescate histórico y análisis teórico, principalmente, a través del dialogo con postulados de: la Cibernética de Primer Orden (Wiener, 1948) **1**; la Cibernética de Segundo Orden (Von Foerster, 1974) **2**; la Teoría de la Conversación (Pask, 1976) **3**; la Teoría General de Sistemas (Von Bertalanffy, 1976) **4**; la Teoría Matemática de Comunicación (Shannon, 1948) **5**; y el Pensamiento Complejo de Morin (1977; 2011) **6**. El enfoque retrospectivo implica analizar eventos, documentos y figuras del pasado para abordar desafíos contemporáneos o para obtener una comprensión más profunda y ampliada de los contextos históricos. Este enfoque es complejo e incorpora varios campos de estudio y técnicas de investigación (Bourke y Skinner, 2022), y coincide con la visión de Morin (1977), quien aboga por un método dialógico y dialéctico que reconozca la complejidad y la interconexión de los fenómenos históricos.

El entendimiento de procesos de diseño en BIM al que se hace referencia y que guía la reflexión, se refiere, simultáneamente, a una estructura tecnológica de informática, un conjunto de procesos de diseño y producción específicos, así como una metodología y procedimientos de gestión y acceso a la información (Pita, 2021; Pita y Tramontano, 2023; Dounas et al., 2020). Es un entendimiento que permite interpretar la capacidad que el BIM posee para complejizar

los procesos de diseño, lidiando con conjuntos de capas de informaciones interdependientes de diversas naturalezas y posibilitando la responsividad y retroalimentación entre metadatos y parámetros de diseño, entre diseñador y diseño, en un flujo de información que está en constante producción. Se defiende que, para alcanzar estas dinámicas de flujos informacionales en la producción de arquitectura, fue necesaria la construcción de una extensa tela de articulaciones que informatizó el pensamiento arquitectónico, principalmente con la cibernética (Quin, 2019), en un proceso que se mantiene vigente y que, sin él, la arquitectura no podría ser procesada a través del BIM. Es pertinente destacar que, aunque sea tangente, el objetivo de este artículo no yace en la discusión de las prácticas actuales de procesos de diseño o en el uso del BIM, más sí en examinar los antecedentes históricos y teóricos que contribuyeron para su formulación y desarrollo a lo largo del último siglo.

Además del apartado introductorio y conclusivo, este artículo se estructura en torno a dos secciones principales. Iniciando con “La emergencia de bases computacionales orientadas a la Arquitectura”, se discute la génesis del desarrollo de bases computacionales en el campo de la Arquitectura, considerando contextos sociopolíticos y contribuciones teóricas del campo de la Cibernética. Enseguida, en la sección “Cibernética y procesos de diseño”, se explora la relación entre ambos campos de estudio, examinando cómo principios cibernéticos y computacionales fueron aplicados e incorporados al proceso de diseño y cómo ese nodo de conexiones contribuyó a la informatización del pensamiento arquitectónico.

La emergencia de bases computacionales orientadas a la arquitectura

Douglas Engelbart (1962), alineado a las premisas del trabajo de Ashby (1956), presentó el concepto de inteligencia aumentada en red, proponiendo un proceso de diseño asistido por un sistema computacional, el *Clerk*. En las páginas iniciales de su reporte preparado para la *Air Force Office of Scientific Research*, Engelbart apunta:

Ignorando la representación en la pantalla, el arquitecto comienza a insertar una serie de especificaciones y datos sobre una losa de seis pulgadas, paredes de concreto de doce pulgadas, [...] la escena revisada aparecerá en la pantalla, la estructura está tomando forma. Examina, ajusta, toma informaciones del catálogo del “clerk” y reajusta. [...] recurre a las listas de especificaciones del “clerk” para modificarlas o adicionar otras. Crecen en una estructura cada vez más detallada e interconectada, que representa el pensamiento maduro que llevó al diseño. (Engelbart, 1962, p. 5)

Además de su comprensión cibernética aplicada al proceso de diseño, Engelbart (1962) describió con significativa precisión aquellos que, años más tarde, serían sistemas experimentales orientados al diseño. Esta era una visión sobre un arquitecto del futuro que, en términos de Ashby (1956), ampliaría su inteligencia con la asistencia de la computación. También fue la visión de un proceso de diseño fundamentado en el uso de bancos de datos interdependientes, que tienen relación directa con un sistema de símbolos que apoya la interacción humano-máquina. En 1959, el *Computer Applications Group*

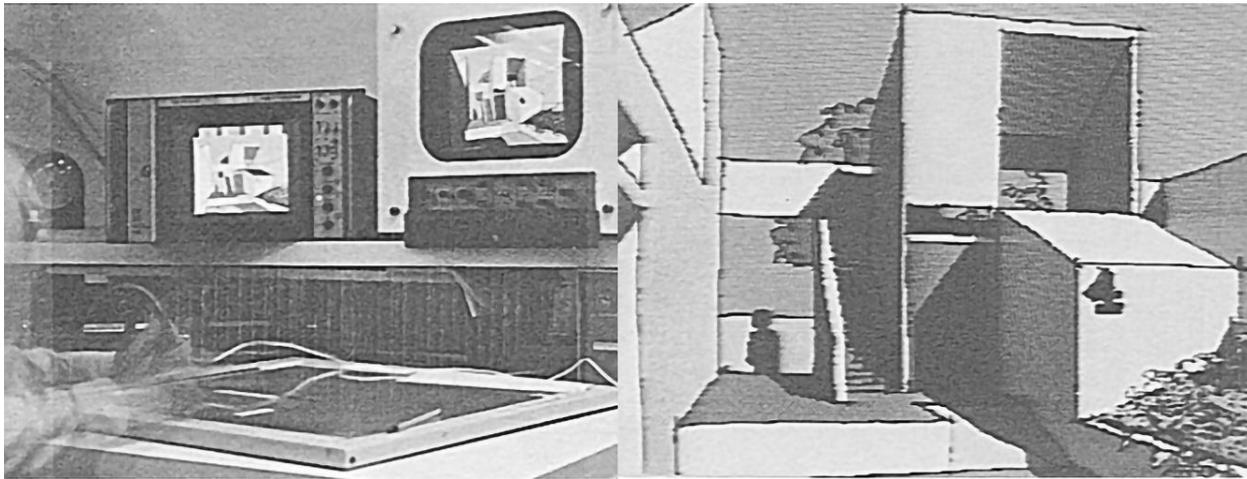


Figura 1. *Architecture-by-Yourself: an experiment with computer graphics for House Design.* Fuente: Adaptado de Weinzapfel y Negroponte, 1976.

y la División de Diseño del Departamento de Ingeniería Mecánica del MIT discutieron visiones similares a la de Engelbart (Coons, 1963). Abordaron la posibilidad de utilizar la computación de manera más explícita en los procesos de diseño, considerando desde la concepción hasta la construcción del edificio. Coons (1963) describió que delinearon un sistema que “usaría los poderes creativos e imaginativos del hombre y los poderes analíticos y computacionales de la máquina” (Coons, 1963, p. 300). Fundamentados en esa premisa, Coons y Ross incorporaron los postulados de Engelbart (1962) a las propuestas de su proyecto de investigación *Computer-Aided Design*, coordinado por Ross. Este proyecto pretendía aplicar conceptos y técnicas de procesamiento de datos para el diseño de piezas mecánicas y desarrollo de sistemas de programación automática para máquinas y herramientas controladas numéricamente (Ross, 1961; Ross y Rodríguez, 1963), consolidándose como referencia para importantes investigaciones en el área, como las investigaciones de doctorado de Ivan Sutherland (1963) y Charles Eastman (1968).

Eastman (1970) publicó un análisis de procesos de diseño intuitivos apoyados en bases informáticas y, un año después, publicó una base computacional (Eastman, 1971) que, en términos de Ashby (1956) y Engelbart (1962), ampliaría la capacidad de los diseñadores para desarrollar actividades del proceso de diseño. También en la década de 1970, el grupo de investigación *Architecture Machine Group* (AMG), fundado por Nicholas Negroponte y Leon Groisser, inició el proyecto de investigación *Architecture-by-Yourself: An Experiment with Computer Graphics for House Design* que, investigando gráficos computacionales, procuraba desarrollar sistemas que asistieran actores no-técnicos a diseñar sus propias habitaciones (Figura 1) (Weinzapfel y Negroponte, 1976).

Paralelamente, en el Reino Unido, aplicando principios sistémicos y de control de la información, cuatro grupos de investigación se consolidaban como referencia en la investigación de modelos y sistemas de descripción de la información (Figura 2). Como se puede corroborar en Ingram (2020), parte de los códigos fuente de los programas computacionales de base BIM, como Revit y Archicad, provienen de los frutos de las investigaciones de estos grupos de investigación.

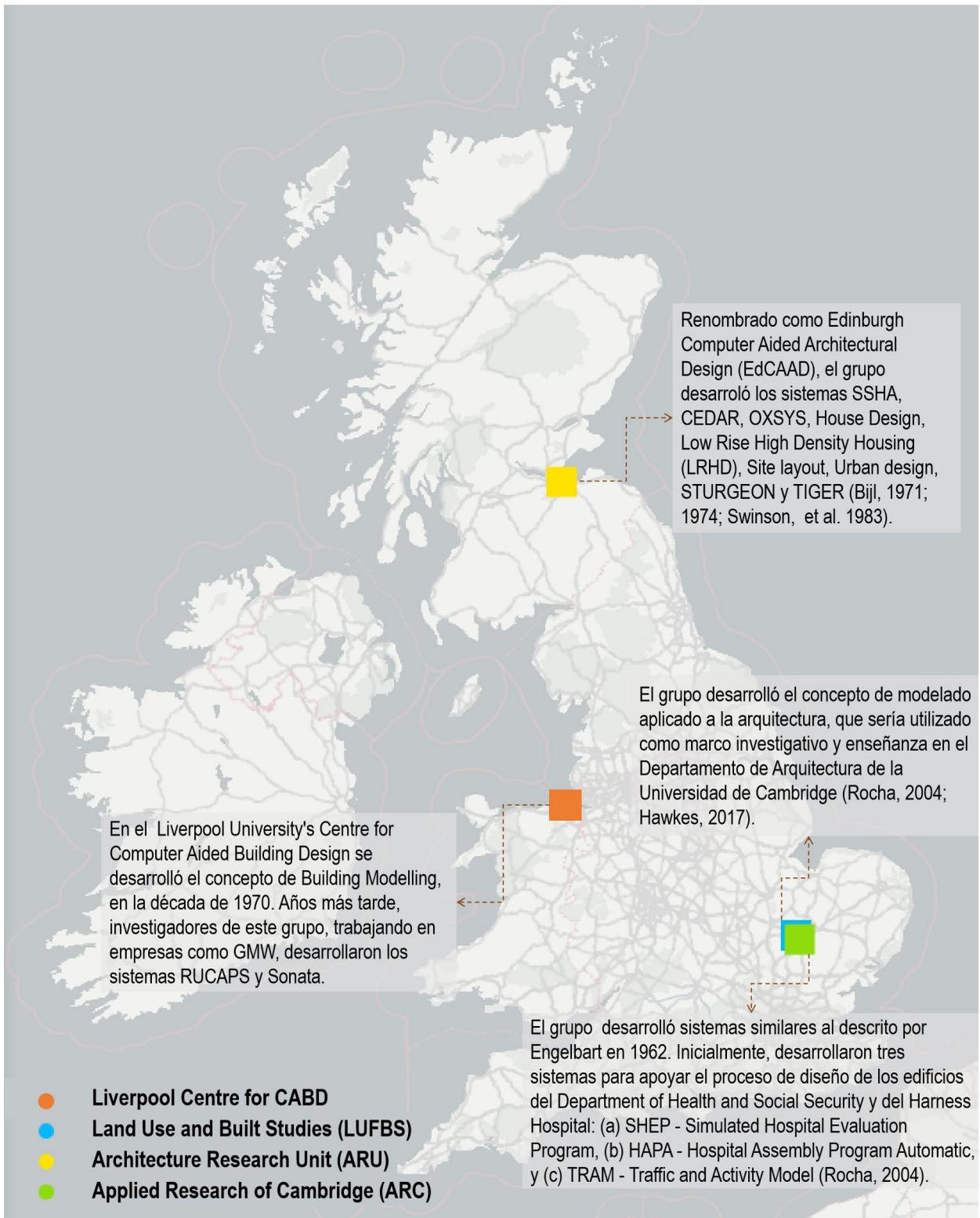


Figura 2. Grupos de investigación en el Reino Unido.
Fuente: Elaboración de los autores.

Los sistemas computacionales estadounidenses de las décadas de 1960 y 1970 fueron desarrollados en estrecha relación con la Teoría Cibernética (Wiener, 1948), la Teoría Matemática de la Comunicación (Shannon, 1948) y la Teoría de la Conversación (Pask, 1976). Esa conexión puede atribuírseles, en cierta medida, a los financiamientos provenientes de instituciones relacionadas a investigaciones de carácter militar y que utilizaron premisas de la cibernética, como la *Advanced Research Projects Agency* (ARPA), la *Air Force Office of Scientific Research* y la *Army Engineer Division, Construction Engineering Research Laboratory* (CERL). El reporte de investigación del *Computer Aided Engineering and Architectural Design System* (CEAEADS), elaborado por la oficina de arquitectura Daniel, Mann, Johnson & Mendenhall (DMJM) para el CERL, financiado por la *Army Engineer Division*, evidencia la contribución de una amplia red de investigadores, incluyendo arquitectos como Charles Eastman, William Mitchell, Robert Stults y Nicholas Negroponte (DMJM, 1979). Estos profesionales, afiliados a diversos grupos de investigación y universidades, llevaron a cabo estudios encomendados por instituciones militares, demostrando la interconexión entre la investigación académica y los intereses militares. Es de destacar la particularidad de las contribuciones de Eastman (1968; 1970; 1971; 1972) y Negroponte (1970; 1975).

Los trabajos de Eastman (1968; 1970; 1971; 1972), especialmente aquellos publicados en las décadas de 1960 y 1970, reflejan un constante diálogo con comunicaciones de investigadores interesados en el comportamiento humano y funcionamiento cerebral, así como en la cibernética. Eastman (1970) destacó que su enfoque se fundamentó “[...] en el trabajo de Newell, Shaw, Simon, Hunt y otros que utilizan conceptos de procesamiento de información para estudiar la formación de conceptos y resolución de problemas” (p. 23). Resaltamos el trabajo *Adaptive Conditional Architecture* (Eastman, 1972), que deriva de la cibernética, “concentrándose en los aspectos dinámicos y en constante cambio del ambiente físico, en vez de los aspectos estáticos y monumentales” (p. 52). Esto demuestra que sus trabajos, tanto teóricos como computacionales, surgieron de experimentos impulsados por las teorías que permeaban el contexto intelectual y social de los Estados Unidos, especialmente la cibernética. Por su parte, el trabajo de Negroponte estaba fuertemente influenciado por la Teoría de la Conversación (Pask, 1976) y por los procesos de diseño participativos del arquitecto franco-húngaro Yona Friedman (1971). En medio de una serie de publicaciones sobre Conversación, el ciberneticista inglés, Gordon Pask, elaboró el texto *Artificial Intelligence*, en 1972, publicado como introducción a un capítulo de *Soft Architecture Machines* (Negroponte, 1975), demostrando una articulación clara entre el campo de la Cibernética y la Arquitectura.

En el continente europeo, los procesos de diseño y los programas computacionales orientados al proceso de diseño se beneficiaron, particularmente —mas no exclusivamente—, de los aportes sistémicos y cibernéticos de Pask (1969; 1976) así como de las proposiciones participativas del grupo Archigram y del arquitecto Lucien Kroll (1994). Destacamos la vasta producción académica sobre el asunto, en especial, aunque no limitándose: el libro *Advanced Computer Graphics: Economics Techniques and Applications*

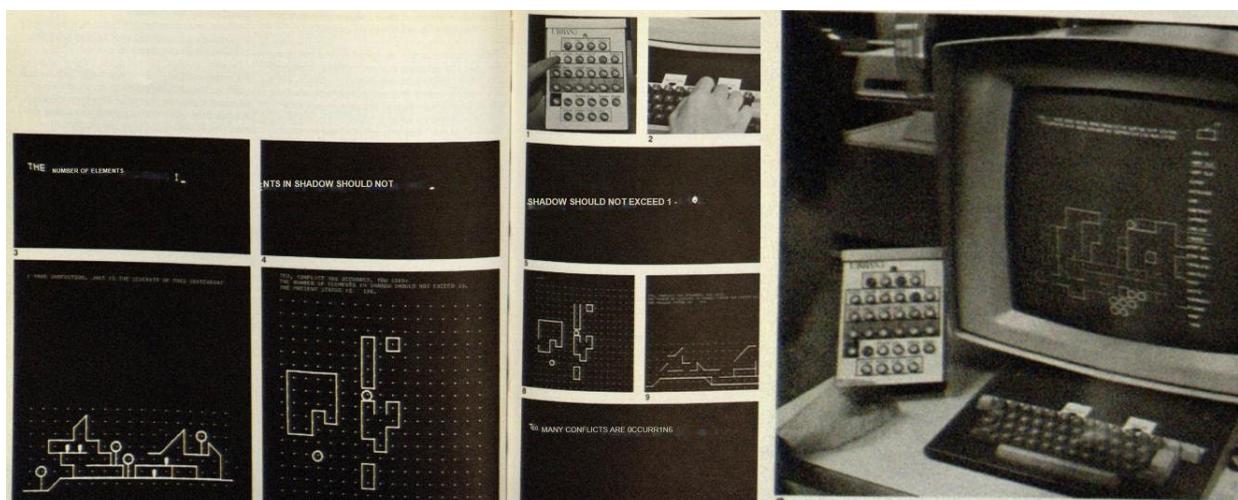
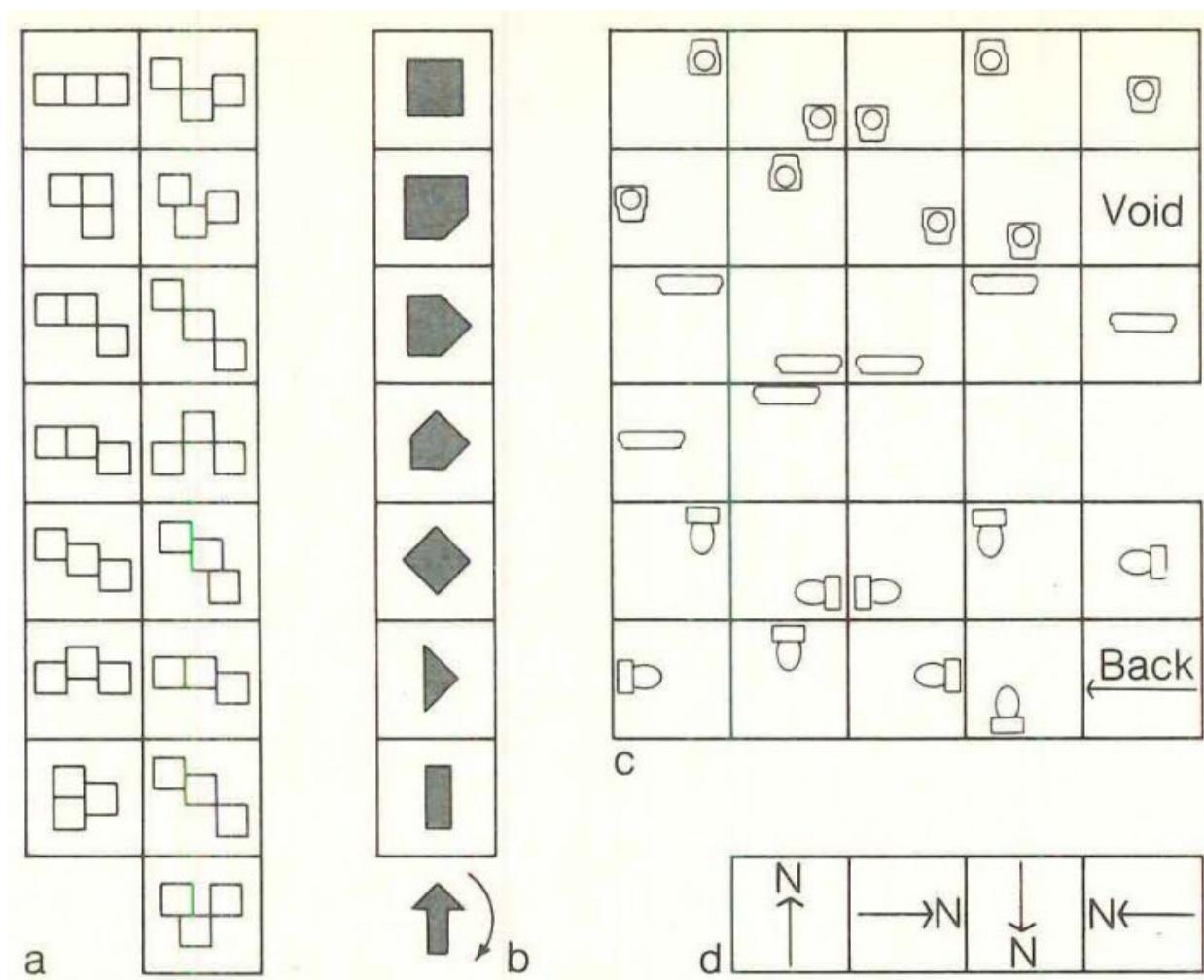


Figura 3. Diagrama de opciones del Flatwriter. Fuente: Friedman, 1971.

Figura 4. Software URBAN5. Fuente: Adaptado de Negroponte, 1970.

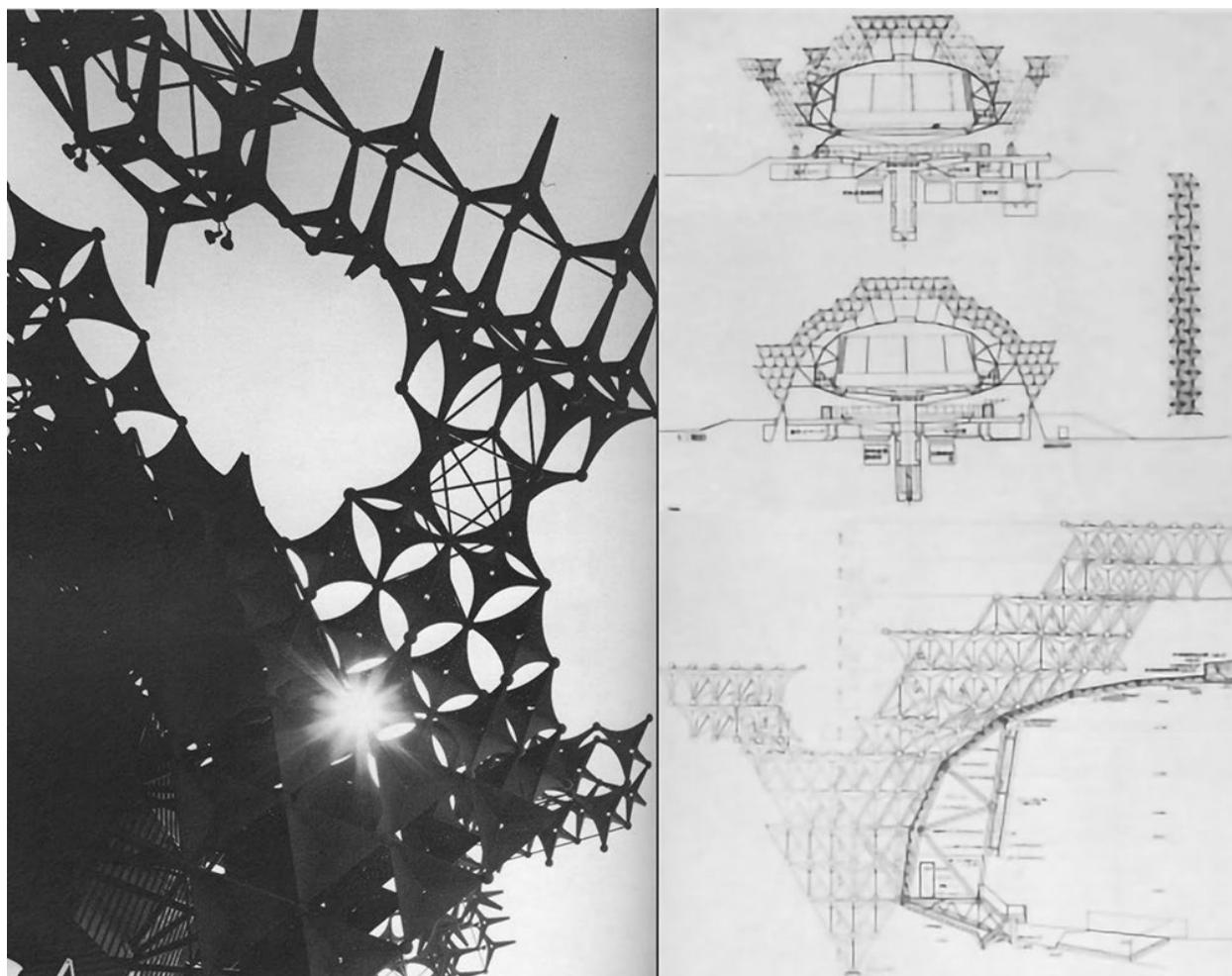


Figura 5. Toshiba Ihi Pavilion, Expo 70, 1970. Fuente: Adaptado de Kurokawa, 1977.

(Parslow y Green, 1971) y anales del congreso *Design Participation – Proceedings of the Design Research Society Conference* (Cross, 1972). Paralelamente, en Francia, nociones de participación ciudadana de toma de decisiones de diseño, derivadas del estructuralismo (Rocha, 2004), también contribuyeron para la formulación de *software* que, además de describir las informaciones de la construcción, asistían procesos participativos de diseño. En este ámbito, Friedman (1971) concibió el *software Flatwriter* (Figura 3), pensado para ofrecerles a los actores no-técnicos herramientas de selección e impresión de las preferencias de su futura habitación. Su propuesta fue presentada en la Exposición Mundial de Osaka, en Japón, en 1970, e influyó una cantidad significativa de formulaciones de sistemas computacionales, como el URBAN5 (Figura 4) (Negroponte, 1970). Es de notar que, en la misma exposición, el arquitecto metabolista Kisho Kurokawa presentó el proyecto *Toshiba Ihi Pavillion* (Figura 5), cuyos cálculos estructurales fueron hechos con la asistencia de un computador (Kurokawa, 1977).

Revistas del área de Arquitectura también cumplieron un importante rol en la diseminación de avances tecnológicos que retroalimentarían las formulaciones y desarrollos del BIM. La revista estadounidense *Progressive Architecture* (1920-1995) construyó una valiosa colección de trabajos pioneros

sobre sistemas orientados a la arquitectura y, específicamente, al proceso de diseño. Se destacan las ediciones del año 1971, en las que fueron publicados influyentes trabajos sobre procesos de diseño participativo, como el *Flatwriter* (Friedman, 1971), y sistemas con bases de datos interconectados desarrollados por oficinas de arquitectura (*Interior design*, 1971, p. 84). También, en Londres, la revista *Computer Aided Design* inauguró la *International Conference and Exhibition on Computers in Engineering and Building Design* (1974), un evento que sirvió como plataforma de discusión para el creciente grupo de profesionales involucrados con *Computer-Aided Building Design* (CABD).

Se reunió en este ítem un conjunto de conexiones entre cibernética y el panorama de la génesis del desarrollo de bases computacionales orientadas a la arquitectura, pretendiendo verificar los fundamentos teóricos de las formulaciones del BIM, como en los casos de Eastman, Negroponte, Sutherland y Friedman. Las décadas de 1960 y 1970 marcaron el nacimiento de la industria de *software*, una vez que un amplio conjunto de programas computacionales se desdobló de las primeras formulaciones de estos arquitectos, así como de los grupos británicos CCABD, LUBFS, ARC y EdCAAD. A pesar de la diversidad geográfica de las contribuciones, todas están ubicadas en países del Atlántico Norte.

Cibernética y procesos de diseño

Las décadas centrales del siglo XX constituyeron un escenario de efervescencia intelectual fuertemente relacionado a las situaciones de la posguerra y de la Guerra Fría. Durante esas décadas, utilizando postulados cibernéticos, también se presenciaron las influencias del conocimiento producido en el período de la carrera espacial y por el *Advanced Research Projects Agency* (ARPA), sobre computación y arquitectura. Este escenario contribuyó al tejido de conexiones entre cibernética, computación y procesos de diseño, que conllevó a la informatización del pensamiento arquitectónico y procesos de diseño en BIM, abarcando influencias, imposiciones y concordancia de visiones sobre la producción de arquitectura en una época de avances computacionales y necesidad de reconstrucción urbana.

En el contexto estadounidense de eminente amenaza de guerra nuclear, aplicando al campo del Urbanismo los principios organizacionales discutidos en su recién publicado libro, *The human use of human beings* (Wiener, 1950), Wiener, Deutsch y Santillana (1950) concibieron la ciudad como una red de comunicaciones y flujos, análoga al cuerpo humano. Martin (2005), considera que para Wiener, la ciudad debía ser entendida como un gran organismo comunicativo (Martin, 2005), visión que coincide con aquellas enunciadas por Alexander (1965) y por el ciberneticista inglés Gordon Pask (1969; 1976), que se destacó por su extensa contribución a la articulación entre cibernética y arquitectura. Cedric Price (2001) recuerda que los primeros contactos de Pask con arquitectos ocurrieron cuando participó como invitado del proyecto *Fun Palace*, en 1960. Price (2011) señaló que la contribución de Pask para el diseño del *Fun Palace* fue inestimable, aportando soluciones ejecutivas y,

DESARROLLO

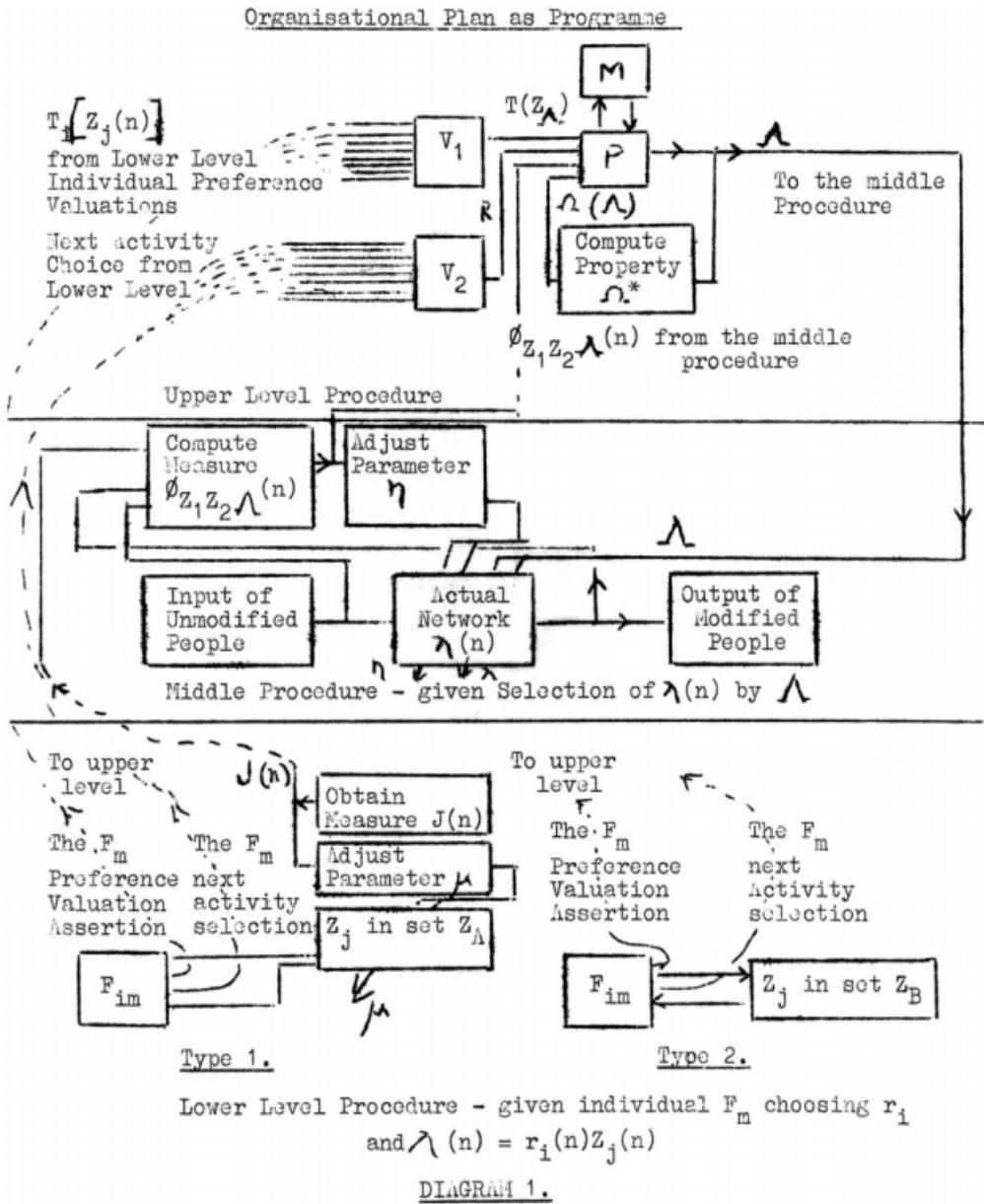


Figura 6. Diagrama cibernético del *Fun Palace*, por Gordon Pask. Fuente: Mathews, 2006.

principalmente, cibernéticas, que determinaron el programa y dimensiones del proyecto (Figura 6). Para el ciberneticista inglés, los arquitectos fueron los primeros diseñadores de sistemas dinámicos, empujados al interés por las propiedades organizativas de los sistemas diseñados, la comunicación y el control (Pask, 1969). Tal argumentación sobre la relación entre cibernética y arquitectura se aloja en las premisas de la Teoría de la Conversación (Pask, 1976) que, en consonancia con la Cibernética de Segundo Orden, considera la influencia del observador en los sistemas observados.

La concepción de Pask (1969; 1976) coincide con las comprensiones del grupo Archigram acerca de la arquitectura como un sistema que incluye su observador. Sadler (2005) indica que Archigram “promovía la arquitectura como una situación de servicios compleja, dispersa, completada únicamente

por la participación activa del observador, en un entorno cibernético en pleno funcionamiento [...]” (p. 113). Tanto Pask (1969; 1976) como Archigram, identificaron potencialidades en las tecnologías digitales para la observación de sistemas complejos, ya sean procesos de diseño, unidades arquitectónicas o ciudades. Es importante notar el pionerismo computacional orientado a la arquitectura de ambos. Los trabajos del ciberneticista inglés promovían una transferencia y aplicación teórica de la cibernética a la arquitectura, discutiendo la cibernética en sí, ocurriendo, según la Teoría de la Comunicación (Shannon, 1948), sin ruidos en el canal de transmisión. Era el propio cibernético que, aplicando la teoría cibernética al campo de la arquitectura, desarrollaba bases computacionales para asistir procesos de diseño. Al mismo tiempo que reflexionaba sobre los procesos los teorizaba. Según Mathews (2006), Pask tradujo procesos y dinámicas de interacción entre usuarios y sistemas de control del *Fun Palace* en información estructurada, declarándola en diagramas para establecer estrategias de reconfiguración espacial, y proporcionando una “matriz espaciotemporal operativa de una arquitectura virtual” (Mathews, 2006, p. 45). Archigram realizaba analogías directas al computador y su funcionamiento, aludiendo a una arquitectura de *plug-ins* y conexiones, aliada a un abordaje sistémico (Sadler, 2005): en *Plug-in City*, el *software* son las unidades arquitectónicas, movibles e intercambiables; el *hardware* es la estructura fija de la ciudad, el soporte de apoyo donde se conectan las unidades arquitectónicas (Rouillard, 1994; Silva, 2004).

La propuesta de edificios residenciales del *Plug-in City* se refiere a las cápsulas unitarias portátiles de concreto armado que podrían ser conectadas en ciudades, que también eran planteadas como máquinas diseñadas para la fácil conexión y desconexión de las cápsulas (Silva, 2004). Similarmente, a partir del año 1959, fundamentados en nociones biológicas y sistémicas (Von Bertalanffy, 1976), los Metabolistas propusieron desarrollar y adaptar mega estructuras de encaje en las que “las células vivas, como en la obra de Kisho Kurokawa, serían reducidas a capullos prefabricados, conectados a enormes rascacielos helicoidales” (Frampton, 2003, p. 344). Este escenario de proposición y desarrollo de mega estructuras dispuestas a la conexión de cápsulas ocurrió en paralelo a las propuestas enunciadas por Friedman sobre organización del espacio urbano por medio de mega estructuras espaciales (Miyasaka, 2011).

En este trabajo, se ha propuesto reunir el grupo Archigram, el movimiento Metabolista y Friedman en función, primero, de que compartieron la coyuntura histórica de los años siguientes a la Segunda Guerra Mundial, en la que el planeamiento de las ciudades se encontraba en reconstrucción y, segundo, de las similitudes en sus abordajes participativos en los procesos de diseño y uso de tecnologías digitales. Estas similitudes derivaron de las significativas influencias de la Teoría General de Sistemas y el campo de la Cibernética para la “emergencia de un raciocinio improvisacional en la arquitectura y proyectos de espacios, objetos, infraestructura e incluso ciudades” (Rocha, 2015, p. 108). Silva (2004) defiende que las casas cápsulas también poseían características flexibles, estando compuestas por elementos menores y articulados, que les permitía a los habitantes reconfigurarlas, en un proceso dinámico. Respecto al

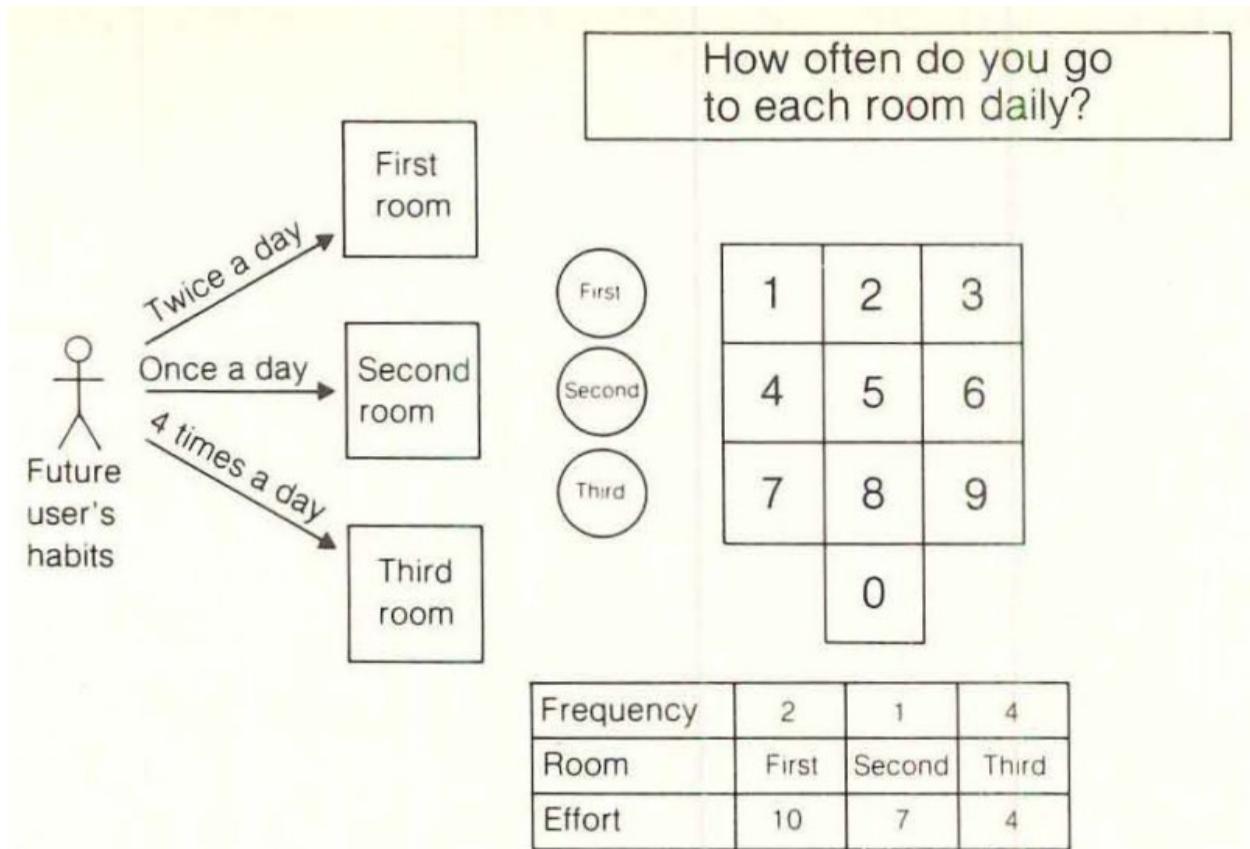
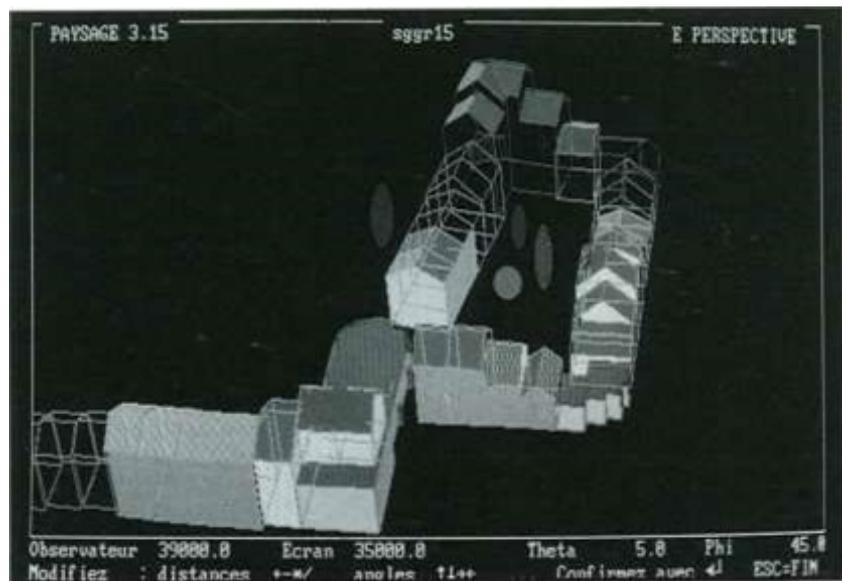


Figura 7. Diagrama de traducción de modos de vida y uso de los ambientes. Fuente: Friedman, 1971.

Figura 8. Software desarrollado por la oficina Lucien Kroll, en 1981. Fuente: Kroll, 1994.



movimiento Metabolista, se perciben “trazos de una abertura participativa y de valorización individual manifestada en el deseo de ofrecer, a través de estos métodos sistemáticos, la posibilidad de que cada individuo pudiera crear su propia habitación, de acuerdo con sus gustos y capacidad económica” (Rocha, 2015).

Friedman (1971; 1973) nota la necesidad de abrir espacios de expresión para los individuos, así como la necesidad de informarles acerca de los riesgos y posibles implicaciones de sus decisiones (Figura 7). Diseñaba procesos que evitaran el ruido en la transmisión de la información, para no comprometer la recepción del mensaje enviado (Friedman, 1971; 1973). De hecho, como se puede constatar en el estudio de Miyasaka (2011), fue Friedman quien más profundizó en las dinámicas participativas. Veloso y Pratschke (2013) también indican que Friedman investigó el diseño en arquitectura como un proceso informacional que estimulaba “la diversidad del comportamiento humano y de nuevos tipos de organización social” (p. 354).

El arquitecto belga Lucien Kroll y el arquitecto holandés John Habraken conforman un segundo conjunto de arquitectos que marcaron los estudios sobre procesos de diseño que, parafraseando a Morin (2011), estimulan y están abiertos a las emergencias. El abordaje de Kroll (1994) respecto a los procesos participativos parte de la búsqueda por directrices de diseño en las que, por medio de la observación del cotidiano de las comunidades, las preocupaciones fueran contempladas a medida que son identificadas, en vez de designar prioridades a los problemas, siendo necesario involucrar a todos los habitantes urbanos. Kroll (1994) afirmaba que, a partir del desorden, su búsqueda se basaba en fomentar el desarrollo de autonomías sociales autoorganizadas, al mismo tiempo que invitaba a escapar de lo que él denominó torpeza arquitectónica, que carece de cuestionamientos básicos (Kroll, 1994). Además de ser un asiduo crítico del movimiento modernista, Kroll (1994) se destacó por el uso de *software* para desarrollar técnicas que les permitieran a las personas diseñar sus propios espacios (Figura 8).

En Holanda, el arquitecto John Habraken (1961), pionero del movimiento de la arquitectura participativa, publicó el libro *De dragers en de mensen*, en el que presentó una alternativa radical a la construcción de habitaciones en masa. Al igual que Kroll, Habraken lapida la producción de espacios de habitar idénticos y responde a esa situación — en un momento de postguerra— con el concepto de *supports*, que atribuye el diseño general al arquitecto y el diseño del espacio doméstico al habitante (Habraken, 1961). Aunque Habraken poco contempló el uso de tecnologías digitales en la época de la publicación de su libro, presentó al MIT, en 1996, un reporte que contenía una reflexión sobre la práctica profesional de la arquitectura, abordando la influencia de las tecnologías digitales (Habraken, 1996). Al mismo tiempo que nota una desviación del papel tradicional del arquitecto, demuestra claros indicios de una práctica informatizada.

“Es, con todo, de Alexander la contribución más incisiva para la informatización de los procesos de diseño, objetivando la inclusión de los

habitantes” (Tramontano y Trujillo, 2019, p. 3). En *The Architecture Relevance of Cybernetics* (1969), Pask (1969) indicó el hecho que la cibernética abstracta también puede ser interpretada como una teoría arquitectónica global, refiriéndose al potencial del diseño arquitectónico para crear sistemas abiertos responsivos, también destacó los avances cibernéticos de los arquitectos Christopher Alexander y Nicholas Negroponte: “Alexander, preocupado por la lógica de la forma, rastrea conceptos esencialmente cibernéticos [...], estoy ansioso por seguir el desarrollo pragmático de las ideas cibernéticas y verlas emerger en la historia de la arquitectura” (p. 76). En *Community and Privacy: Toward a New Architecture of Humanism*, Chermayeff y Alexander (1963) trabajaron en la descripción de la estructura de un organismo urbano haciendo uso de programas computacionales. Y en el clásico ensayo *A city is not a tree* (1965), hacen hincapié en dos cuestiones fundamentales.

La primera, es que la ciudad constituye un sistema complejo y que todo intento de entenderla demanda de un abordaje sistémico [...]. La segunda, son los riesgos de que, por basarse en conocimientos técnico-científicos como garantía de su racionalidad, el planeamiento urbano moderno concentre excesivo poder de decisión en las manos de diseñadores, planeadores, administradores urbanos e incorporadores inmobiliarios, ignorando, en el proceso, la ciudad real, los modos de vida y las aspiraciones —en general conflictuantes— de sus habitantes” (Tramontano, et al., 2020, p. 55).

Procurando un abordaje cuantitativo sobre diseño, Alexander defendía que cualquier elemento que pudiera ser diseñado era un problema a ser solucionado metódicamente como un sistema: “utilizando el computador, el diseñador define un modelo matemático del comportamiento del problema, creando una jerarquía de diversos subsistemas con fuerte interacción” (Velo, 2012, p. 497). Por su parte, Habraken (1961) considera que, al presentar cada patrón como una solución a un problema, la argumentación de Alexander adquiere un sentido determinista innecesario para los procesos participativos de diseño. Aun así, Alexander desempeñó un papel crucial en el proceso de informatización del pensamiento arquitectónico, en particular introduciendo la noción de Lenguajes de Patrones —o *Pattern Languages* (Alexander et al., 1977)— en arquitectura. Adicionalmente, como enfatiza Richard P. Gabriel (1999), en su libro *Patterns of Software: Tales from the Software Community*, las proposiciones de Alexander fueron ampliamente acogidas por desarrolladores de *software*, especialmente, *software* orientado al objeto (*object-oriented software*). Como Pask para el *Fun Palace* (Mathews, 2006), Alexander declaró y sistematizó dinámicas del comportamiento humano, produciendo un catálogo de informaciones estructuradas e interconectadas para que pudieran ser pensadas a través de tecnologías digitales (Alexander et al., 1977).

CONCLUSIONES

En este trabajo, se observaron los procesos de diseño en BIM como la configuración de un tejido de avances metateóricos, computacionales y de procesos de diseño, derivada de un proceso de más de cincuenta años de informatización del pensamiento arquitectónico. A partir de un abordaje retrospectivo, se presentaron articulaciones interdependientes

entre estos campos, considerando los contextos históricos y sociopolíticos que inspiraron cuestionamientos sobre procesos de diseño participativos y colaborativos influenciados y asistidos por tecnologías digitales y por la cibernética. Este escenario de paralelismos cimentó las bases, primero, de un proceso de mudanza en los procesos de diseño y, segundo, de un proceso de informatización del pensamiento arquitectónico que se extiende hasta la actualidad. Consecuentemente, se puede inferir que la formulación y avance del BIM es una continuación de los esfuerzos para incorporar el pensamiento computacional en los procesos de diseño, una vez que está intrínsecamente ligado al objetivo de manejar y declarar una mayor cantidad de informaciones del proceso de diseño, fundamentado en principios cibernéticos y computacionales, con el apoyo de avances tecnológicos.

Se reunió en una misma secuencia cognitivo-investigativa las premisas cibernéticas, proposiciones y desarrollos de Pask, Friedman, Alexander, Kroll, Habraken, Eastman, Negroponte, Sutherland, Archigram y los Metabolistas en función de sus contribuciones para los procesos de diseño y de informatización del pensamiento arquitectónico. Se identificó como denominador común la observación, organización y control activo de sistemas dinámicos, así como procesos de diseño abiertos a la interacción de las partes. También tienen en común la característica de contemplar el uso de tecnologías digitales y de información, aunque en niveles y escalas diferentes.

Archigram reflexionaba sobre una sociedad interconectada que utilizaría tecnologías de información y comunicación. Aunque poco profundizó en las implicaciones de sus propuestas futuristas, provocó cuestionamientos sobre el uso de datos para producir y gerenciar tales organismos. Los Metabolistas, a su vez, tenían una visión más madura acerca de las tecnologías occidentales. Se encontró que los Metabolistas utilizaron *software*, tanto en los procesos de diseño, como en los edificios en sí. Friedman (1971; 1973), al contemplar el uso de *software*, organizó procesos de diseño con foco en la participación, estímulo y aceptación de emergencias. Alexander (Alexander et al. 1977), por su parte, desarrolló el concepto de *Pattern Languages* en el campo de la Arquitectura, contribuyó profundamente, aunque no exclusivamente, en el desarrollo de *software*, especialmente, en el campo de *software* orientado al objeto. Adicionalmente, se identificó la búsqueda por estructuras organizacionales no-jerárquicas apoyadas en procesos de conversación, con el objetivo de estimular emergencias y reorganización de los sistemas. Tramontano et al. (2020) destacan que los trabajos realizados por Kroll y Alexander “fueron precursores de la introducción del pensamiento algorítmico en la arquitectura y ayudaron a construir procedimientos que, más tarde, serían útiles para la concepción de los actuales programas paramétricos, especialmente aquellos de base BIM” (p. 55). Se considera pertinente alojar los trabajos de Friedman y Negroponte dentro de ese grupo de precursores.

En Europa, especialmente, en el Reino Unido y Francia, la cibernética ganó más adeptos, contribuyendo a la emergencia de otras maneras de abordar los procesos de diseño y a la incorporación del pensamiento cibernético y computacional al proceso de diseño. Aunque en Latinoamérica también ocurrió

un movimiento de incorporación y estudio de la cibernética dentro del campo del Arte y la Arquitectura, con exponentes como Jorge Glusberg (Glusberg, 1972) y El Grupo de los Trece (Mariategui, 2024; Marchesi, 2017), en Argentina, y Jaime Garretón Risopatrón (Garretón, 1975; Araneda, 2022), en Chile, no se encontraron registros que relacionen directamente este movimiento con el desarrollo del BIM.

Se comprendió que el proceso de informatización del pensamiento arquitectónico, a pesar de presentar una dependencia estricta al uso de tecnologías digitales, necesita, inicialmente, estructurar la información, ya que la informatización es el proceso a través del cual se traducen dinámicas, conocimientos y comportamientos en informaciones que puedan ser procesadas por tecnologías digitales (Zuboff, 1988), como aquellas de los programas BIM. Por tanto, esfuerzos de traducción de procesos en informaciones declaradas y dispuestas para alimentar bancos de datos son tan necesarios como los esfuerzos por introducir el pensamiento algorítmico-computacional en los procesos de diseño. Pask, Negroponete, Kroll, Alexander, Friedman y Eastman, gracias a visiones cibernéticas de observación, control y organización, actuaron en ambas esferas, simultáneamente. Fueron identificadas, entonces, articulaciones claras entre cibernética y procesos de diseño que instigaron y fundamentaron teóricamente bases computacionales que, entre otras cosas, contribuyeron a la producción de los actuales procesos de diseño informatizados en BIM. Esta afirmación también se verifica por medio del descubrimiento de los fundamentos cibernéticos de investigaciones que impulsaron directamente el avance y desarrollo del BIM, como las realizadas por Charles M. Eastman (1971; 1972; Eastman et al., 2011) o las realizadas por los grupos del Reino Unido. Destacando la importancia de los programas desarrollados en el Reino Unido, principalmente en el *Liverpool Centre for Computer Aided Building Design*, ya que son los antecesores directos de los programas de base BIM más utilizados en la producción contemporánea de arquitectura.

Por fin, no podemos evitar de notar que los programas computacionales orientados a procesos de diseño, principalmente aquellos de base BIM, se han desarrollado para asistir modelos de arquitectura noratlánticos, contribuyendo a perpetuar su imposición en otros ejes del globo. Esto significa que los procesos de diseño no están exentos de la no-neutralidad de la tecnología y, principalmente, de la Industria de *Software* y Servicios de Tecnologías de Información y Comunicación, revelando la necesidad de discutir críticamente el asunto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alexander, C. (1965). A city is not a tree. *Architectural Forum*, 122(1), 58–62.
<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780203094235-18/city-tree-christopher-alexander>

Alexander, C., Ishikawa, S., Silverstein, M., Jacobson, M., Fiksdahl-King, I., & Angel, S. (1977). *A Pattern Language: Towns, Buildings, Constructions*. Oxford University Press. [PDF] https://arl.human.cornell.edu/linked%20docs/Alexander_A_Pattern_

Language.pdf

Ashby, W. R. (1956). Design for an Intelligence-Amplifier. En *Automata Studies*, 34, 215–234. Princeton University Press EBooks. <https://doi.org/10.1515/9781400882618-011>

Araneda, C. (2022). Jaime Garretón's cybernetic theory of the city and its system: a missing link in contemporary urban theory. *AI & Soc* 37, 1179–1189. <https://doi.org/10.1007/s00146-021-01349-z>

Bijl, A. (1971). Computer Aided Architectural Design en R. D. Parslow, & R. E. Green (Eds.), *Advanced Computer Graphics* (pp. 433–448). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-4606-7_25

Bijl, A. (1974). Research in progress. *Computer-Aided Design*, (6)3, 183–186. <https://www.sciencedirect.com/journal/computer-aided-design/vol/6/issue/3>

Bourke, R., & Skinner, Q. (Eds.). (2022). *History in the Humanities and Social Sciences*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009231053>

Chermayeff, S., & Alexander, C. (1963). *Community and Privacy: toward a new architecture of humanism*. Doubleday.

Coons, A. (1963). An outline of the requirements for a computer-aided design system. In Proceedings of the May 21-23, 1963, Spring Joint Computer Conference (AFIPS '63 (Spring)). Association for Computing Machinery, USA, 299–304. <https://doi.org/10.1145/1461551.1461588>

Cross, N. (Ed.). (1972). *Design Participation: proceedings of the design research society conference, 1971*. Academy Editions.

DMJM. (1979). *Computer Aided Engineering and Architectural Design System (CEAEADS)*. U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory. [PDF] <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA065827.pdf>

Dubberly, H., & Pangaro, P. (2015). How Cybernetics Connects Computing, Counterculture, and Design. *Hippie Modernism: The Struggle for Utopia*. Walker Art Center. <https://www.dubberly.com/articles/cybernetics-and-counterculture.html>

Dounas, T., Lombardi D., & Jabi, W. (2021). Framework for decentralised architectural design BIM and Blockchain integration. *International Journal of Architectural Computing*, 19(2), 157-173. <https://doi.org/10.1177/1478077120963376>

Eastman, C. (1968). *Explorations of the cognitive processes in design* [Tesis de Doctorado, Carnegie-Mellon University]. Repositorio Institucional.

Eastman, C. (1970). On the analysis of intuitive design processes. En T. Moore (Ed.), *Emerging Methods in Environmental Design and Planning*. 21–37. [PDF] <https://users.metu.edu.tr/baykan/arch467/Readings/Eastman.pdf>

Eastman, C. (1971). GSP: a system for computer-assisted space planning. *Proceedings Of The June 1971 Design Automation Workshop On Design Automation -*

Dac '71. 208–220. <http://dx.doi.org/10.1145/800158.805073>

Eastman, C. (1972). Adaptive Conditional Architecture. En N. Cross (Ed.), *Design Participation: proceedings of the design research society conference, 1971*. 51–57

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors* (2nd ed.). Wiley.

Engelbart, D. (1962). *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*. Stanford Research Institute. [PDF] https://www.doungengelbart.org/pubs/papers/scanned/Doug_Engelbart-AugmentingHumanIntellect.pdf

Frampton, K. (2003). *História Crítica da Arquitetura Moderna*. Martins Fontes.

Friedman, Y. (1971). The Flatwriter: choice by computer. *Progressive Architecture*, (52) 98-101. [PDF] <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Flatwriter%3A-Choice-by-Computer-Friedman-Derix/6679d84d064a31161298777f21812d69fdb2627>

Friedman, Y. (1973). *Hacia una arquitectura científica*. Alianza Editorial.

Gabriel, R. (1999). *Patterns of Software: Tales from the Software Community*. Oxford University Press.

Garretón, J. (1975). *Una teoría cibernética de la ciudad y su sistema*. Ediciones Nueva Visión.

Glusberg, J. (Ed.). (1972). *Arte de sistemas en la III Bienal de arte Coltejer*. CAYC Centro de Arte y Comunicación. [PDF] https://monoskop.org/images/d/d0/Arte_de_sistemas_el_CAYC_y_el_proyecto_de_un_nuevo_arte_regional_1969-1977_2013.pdf

Habraken, J. (1961). *De dragers en de mensen: Het einde van de massawoningbouw*. Stichting Architecten Research.

Habraken, J. (1996). *Tools of the Trade: thematic aspects of designing*. The Mit Press.

Hawkes, D. (2017). Bridging the cultures: architecture, models and computers in 1960s Cambridge. *Interdisciplinary Science Reviews*, 42(1-2), 144–157. <http://dx.doi.org/10.1080/03080188.2017.1297160>

Ingram, J. (2020). *Understanding BIM: The Past, Present and Future*. Routledge.

Interior design: Designer's utopia?. (1971). *Progressive Architecture*, 7, 84–87. [PDF] <https://usmodernist.org/PA/PA-1971-07.pdf>

Kroll, L. (1994). The Voice of Libertarian Socialism en R. Van Toorn, & O. Bouman (Eds.), *The Invisible in Architecture*. 396–403.

Kurokawa, K. (1977). *Metabolism in Architecture*. Studio Vista.

Martin, R. (2005). *The organizational complex: architecture, media, and corporate space*. MIT Press.

Marchesi, M. (2017). El Cayc y el arte de sistemas como estrategia institucional. *Sztuka Ameryki Łacińskiej*, 7, 137–163.

Mariategui, J. (06 de junio de 2024). *A Latin America Network for Art and Cybernetics: The Centre for Art and Communication (CAyC)*. 28th International Symposium on Electronic Art ISEA2023, Paris, Francia.

Mathews, S. (2006). The Fun Palace as Virtual Architecture: Cedric Price and the practices of indeterminacy. *Journal of Architectural Education*, 59(3), 39–48. <https://cast.b-ap.net/arc590s14/wp-content/uploads/sites/8/2011/09/mathews-FunPalace.pdf>

Miyasaka, E. (2011). *RE:VISÃO: habitat nos anos 1960*. [Disertación de Maestría, Universidad de Sao Paulo]. Repositorio Institucional. https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18142/tde-21062011-100129/publico/MiyasakaEL_2011.pdf

Morin, E. (1977). *O método 1. A natureza da natureza*. (2). Gráfica Europam, LDA.

Morin, E. (2011). *Introdução ao pensamento complexo*. Sulina.

Negroponte, N. (1970). *The Architecture Machine*. The Mit Press.

Negroponte, N. (1975). *Soft Architecture Machines*. The Mit Press.

Parslow, R. D., & Green, R. E. (Eds.). (1971). *Advanced Computer Graphics: economics techniques and applications*. Plenum Publishing Company Ltd.

Pask, G. (1969). The architectural relevance of cybernetics. *Architectural Design*, 37(6), 494-496 https://cmusyntheticecologies.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/01/pask_gordon_the-architectural-relevance-of-cybernetics.pdf

Pask, G. (1976). *Conversation Theory: Applications in Education and Epistemology*. Elsevier Science Limited.

Pita, J. (2021). *Colaboração comunitária em obras públicas através do uso da Modelagem de Informação da Edificação (BIM)* [Tesis de Doctorado, Universidad de Sao Paulo – Instituto de Arquitectura y Urbanismo]. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102132/tde-21012022-121553/publico/TeseCorrigidaJulianoVeraldodaCostaPita.pdf>

Pita, J., & Tramontano, M. (2023). BIM como plataforma de participação cidadã. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 18(1), 239–260. <https://doi.org/10.11606/gtp.v18i1.183748>

Price, C. (2001). Gordon Pask. *Kybernetes*, 30(5-6), 819–820. <https://doi.org/10.1108/03684920110392084>

Quin, C. A. (2019). The platonic forehead and backhand of cybernetic

architecture. *Leonardo*, 52(5), 429–434. https://doi.org/10.1162/leon_a_01796

Rocha, A. (2004). *Architecture Theory 1960-1980: emergence of a computational perspective*. [Tesis de Doctorado, Massachusetts Institute of Technology]. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/28316>

Rocha, B. (2015). *Complexidade e Improvisação em Arquitetura* [Tesis de Doctorado, Universidad de Sao Paulo]. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16134/tde-08032016-152801/publico/brunomassara.pdf>

Rocha, B. (n.d.). Territorios. (2021). *Movimento Metabolista*. https://www.territorios.org/teoria/H_C_metabolistas.html

Ross, D. (1961). Computer-aided design. *Communications of The Acm*, 4(5), 235-236. <http://dx.doi.org/10.1145/366532.366554>

Ross, D., & Rodriguez, J. (1963). Theoretical foundations of the computer aided design system. *Spring Joint Computer Conference*. 305–322. <https://doi.org/10.1145/1461551.1461589>

Rouillard, D. (1994). Archigram. J. Dethier (Ed.), *La Ville: art et architecture en Europe, 1870-1993*. Éditions du Centre Pompidou.

Sadler, S. (2005). *Archigram: architecture without architecture*. The Mit Press.

Shannon, C. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. <http://dx.doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>

Silva, M. (2004). Redescobrimo a arquitetura do Archigram. *Arquitextos*, 48(5). <https://bit.ly/3wHLYfO>

Sutherland, I. (1963). *Sketchpad, a man-machine graphical communication system*. [Tesis de Doctorado, Massachusetts Institute of Technology]. <https://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf>

Swinson, P., Pereira, F., & Bijl, A. (1983). A fact dependency system for the logic programmer. *Computer-Aided Design*, 15(4), 235–240. [http://dx.doi.org/10.1016/0010-4485\(83\)90127-6](http://dx.doi.org/10.1016/0010-4485(83)90127-6)

Tramontano, M., & Trujillo, J. (2019). Compartilhando decisões: plataformas online para participação cidadã. *PROJETAR*, 9. Universidade Federal do Paraná. 2, 1-9. [PDF] http://projedata.grupoprojetar.ct.ufrn.br/dspace/bitstream/handle/123456789/1176/_Plataformas_online.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tramontano, M., Pita, J., & Sousa, D. (2020). Building Information Modelling em processos decisórios participativos. *Revista Design & Tecnologia*, 10(21), 54–69. <https://doi.org/10.23972/det2020iss21pp54-69>

Veloso, P. (2012). Christopher Alexander e o dilema do espaço (in)formado. *Proceedings of The XVII Conference of The Iberoamerican Society of Digital Graphics*. [PDF] https://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2012_9.content.pdf

Veloso, P., & Pratschke, A. (2014). Uma Arqueologia de Diagramas Cibernéticos. *Proceedings of The XVII Conference Of The Iberoamerican Society Of Digital Graphics*. [PDF] <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2013-0067>

Von Bertalanffy, L. (1976). *Teoría general de los sistemas*. Fondo de Cultura Económica.

Von Foerster, H. (Eds.). (1974). *Cybernetics of cybernetics*, BCL Report No. 73.38. Biological Computer Laboratory, Department of Electrical Engineering, University of Illinois.

Weinzapfel, G., & Negroponte, N. (1976). Architecture-by-yourself. *Acm Siggraph Computer Graphics*, 10(2), 74–78. <http://dx.doi.org/10.1145/965143.563290>

Wiener, N. (1948-1970). *Cibernética, ou controle e comunicação no animal e na máquina*. Polígono, EDUSP.

Wiener, N. (1950). *The human use of human beings: cybernetics and society*. Houghton Mifflin.

Wiener, N., Deutsch, K.; & Santillana, G. (1950). How U.S. cities can prepare for Atomic War: (2 de agosto de 2024) *Life magazine*.

Zuboff, S. (1988). *In the age of the smart machine: The future of work and power*. Basic Books.