

01

Físico y digital.

Una exploración en torno a los orígenes de la convergencia físico-digital en la génesis del proyecto de arquitectura



Este artículo intenta construir un discurso de base historicista con relación a los orígenes del paradigma digital en arquitectura haciendo foco en los procesos productivos de la fabricación digital y en la génesis de las ideas que la sustentan. Para ese fin, se analiza la obra teórica de cinco arquitectos considerados como los precursores de este paradigma, como antecedente histórico de la cuarta revolución industrial. Es el caso de las ideas de Frederick Kiesler, Christopher Alexander, Cedric Price, Nicholas Negroponte y William J. Mitchell. A partir de este análisis, se plantea una serie de posibles escenarios y conclusiones a manera de claves de comprensión de la convergencia físico-digital en la generación del proyecto de arquitectura.

Physical and digital

A research about the origins of the physical-digital convergence in the genesis of the architectural project

This paper attempts to construct an historicist discourse in relation to the origins of the digital paradigm in architecture, focusing on the productive processes of digital manufacturing and the genesis of the ideas that sustain it. To that end, it analyzes the theoretical work of five architects considered as the precursors of this paradigm, as an historical background of the fourth industrial revolution. This is the case of the ideas of Frederick Kiesler, Christopher Alexander, Cedric Price, Nicholas Negroponte, and William J. Mitchell. From this analysis, a series of possible scenarios and conclusions are proposed, as keys for understanding the physical-digital convergence in the generation of the architecture project.



Autor

Mg. Arq. Fernando García Amen

Programa de Doctorado en Arquitectura, ed. 2016.
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad de la República
Uruguay

Palabras claves

Fabricación digital
Digitalización
Precursores
Convergencia
Proyecto de arquitectura

Key words

Digital manufacturing
Digitalization
Precursors
Convergence
Architectural project

Artículo recibido | *Artigo recebido:*

31 / 03 / 2019

Artículo aceptado | *Artigo aceito:*

20 / 06 / 2019

Email: efe@fadu.edu.uy

Grupo de Investigación:

Laboratorio de Visualización Digital Avanzada (vidiaLab), financiado por la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) de la UdelAR.

INTRODUCCIÓN

En el año 2018, prácticamente la totalidad de los espacios y entornos de la actividad humana están regidos por alguna forma de administración digital. En diversos gradientes de intensidad, según la locación geográfica y el avance de la ciencia y la tecnología, la administración digital del mundo avanza expandiéndose en un ritmo incremental que, más tarde o más temprano, acabará abarcando todas las esferas de acción de la humanidad. Incluso, aunque pueda sonar a ciencia ficción, la administración digital ya interviene sobre factores bióticos y biológicos.

Detrás de la misma subyacen diferentes capas informacionales que capturan, analizan, multiplican datos de forma exponencial y obtienen además conclusiones, análisis profundos y, por supuesto, prefiguran escenarios complejos. HAL,¹ la criatura prototípica y en su momento utópica creada por Arthur C. Clark en los años '50, ha dejado de ser un referente icónico de la literatura fantástica para ser una realidad inmersa e inserta en el entramado social de la vida humana. Aeropuertos, controles de vuelo, venta de tickets, pedidos de supermercado, lugares visitados, deseos personales, viajes planificados, dietas personales, historiales académicos, vinculaciones sociales y un largo etcétera están regidos por la capacidad de registro, trazabilidad y prospectiva, que solo es posible en un mundo digitalmente administrado. En este escenario, la clave esencial de entendimiento y comprensión son los algoritmos. (Fig. 01)

Pero, ¿qué sería un algoritmo? La definición más simple y más primaria indica que es una secuencia ordenada de procedimientos e instrucciones, pensada de modo de no generar duda alguna en quien debe aplicarlo. Esta última salvedad cuenta con validez si quien aplica el algoritmo es un ser humano. Pero, ¿tiene la misma validez si quien lo aplica es una máquina? La pregunta es, por lo menos, inquietante. La capacidad incremental de procesamiento predicha por la Ley de Moore ha logrado que la informática actual sea cada vez más potente en su capacidad de cálculo, y por lo tanto también en su capacidad de asimilar algoritmos incrementalmente complejos.

Hoy por hoy, los algoritmos ordenan y regulan la vida humana. Constituyen, según Harari (2016), el nexo entre las ciencias de la vida y las ciencias sociales; o el modo de unificar criterios de evaluación de un mismo fenómeno transversal a varias disciplinas.

HAL está presente —tolérese esta sinécdoque—, aunque su presencia esté desterritorializada. Existe repartida entre salas de servidores enterradas en Texas, en California, en Dublín o en Guangzhou, entre muchos lugares más. HAL existe y se replica a sí misma en modo permanente, al tiempo que crece y aumenta su potencia de cálculo y su capacidad ya no simplemente de asumir algoritmos dados sino de crearlos en función de intereses múltiples. Pero HAL también se ha disgregado en diversos agentes que no siempre ni necesariamente funcionan de manera coordinada. No obstante, el cruzamiento de datos es paulatinamente más automatizado y también más sencillo con la capacidad de cómputo actual.

Solo por parafrasear a Castells, vale decir que la red es el nuevo «espacio de los flujos» (digitales) que tejen la trama informacional del mundo, adoptando una organización algorítmica que asume potestades y controles de forma creciente.

Las máquinas de información, interconectadas y automatizadas, se planean desde las neuronas, se diseñan desde los bits y se soportan desde los átomos. En su ritmo acelerado de superación, administran mientras construyen nuevas informaciones, y tejen la red inabarcable de datos que nutren la vida humana actual. La información es una materia prima que se replica, que se multiplica para producir nuevas informaciones a través de algoritmos, métodos heurísticos y tecnologías especializadas. Es un fin a la vez que un medio para la generación de nuevos recursos informacionales.

Ray Kurzweil (1999), quien en cierto modo removió la escena teórica a fines de los años '80 con su predicción de la era de las máquinas inteligentes, pronosticó el auge de los smartphones (antes de su existencia incluso como prototipo), la explosión de Internet (a la sazón una tecnología para pocos usuarios y casi sin contenidos), la masificación de las tecnologías inalámbricas (el actual cloud), y el rol de las nuevas tecnologías como contrapeso a los regímenes totalitarios de la

1. HAL 9000 es el nombre de la computadora a bordo de la nave Discovery en la novela *2001, a space odyssey*, de Arthur C. Clark. Su nombre se adoptó tomando como inspiración la sigla IBM —por entonces el mayor líder mundial en informática— y empleando las tres letras anteriores en orden alfabético. Asimismo, HAL se ha asimilado a *Heuristically programmed Algorithmic Computer*.

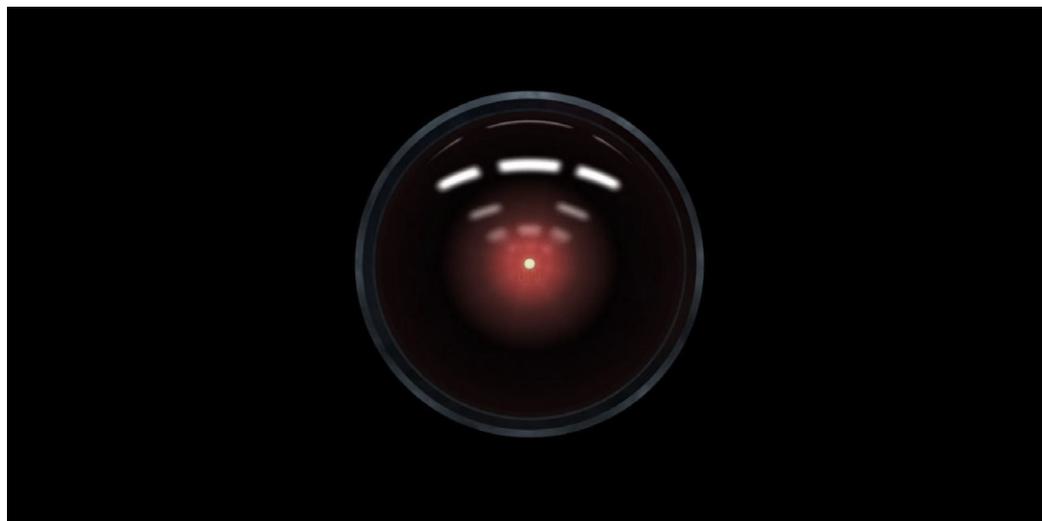


FIGURA 1 | HAL 9000. Fuente: Imagen libre de Internet.

época (fines del siglo XX y principios del XXI). En definitiva, fue esto último una aproximación a los conceptos de máquina de guerra versus el aparato de Estado, por ponerlo en términos deleuzianos.

Las máquinas inteligentes, según Kurzweil, serían capaces de recopilar información acerca de todo el conocimiento humano, procesarlo y producir nuevas instancias informacionales con potencia incremental. Así, en 1996, el proyecto Deep Blue de IBM derrotó por primera vez a Gary Kasparov en el ajedrez. Más recientemente, en 2016, un motor de inteligencia artificial llamado AlphaGo venció al que era en ese momento considerado el mejor jugador del mundo de Go, Lee Sedol. En 2017, el mismo motor de IA pudo con Ke Jie, el sucesor de Sedol. Los creadores del proyecto AlphaGo presentaron sus resultados en el Future Go Summit en China y anunciaron la retirada de la competición al considerar que no es posible para ninguna mente humana batir la fuerza desarrollada por esa tecnología.

Las máquinas inteligentes definen y moldean en la actualidad gran parte de las actividades humanas.

Sin embargo, la predicción realizada por Kurzweil en los lejanos años '80, la era de las máquinas inteligentes, también tiende a ser superada. A través de la masificación de Internet, el acopio de información realizado mediante algoritmos de rastreo, que involucran la determinación de datos personales, intereses, geolocaliza-

ciones y demás informaciones que definen y delimitan la órbita informacional de una persona o un grupo social, se ha incrementado de manera exponencial. El Big Data es hoy un instrumento de análisis extremadamente cercano al tiempo real. Su manejo implica la necesidad de buscar patrones de entendimiento, claves de comprensión y análisis de datos que trascienden las posibilidades humanas y requieren de una capacidad computacional cuyo nivel de crecimiento no parece vislumbrar un techo (Christensen, Horn y Johnson, 2008).

La voluntad de tener una copia cifrada de cada fragmento del mundo no deja de intensificarse y constituye así un proceso de duplicación digital virtualmente en vías de consumación (Sadin, 2013). Acaso también una consumación en orden inverso del sueño de Leibniz de un universo creado a semejanza del código, donde las máquinas reconstruyen el código a posteriori, partiendo de lo físico. Aunque pueda sonar algo inquietante, no es menor que se logre concretar así una fantasía metafísica de más de tres siglos.

La duplicación cifrada abarca la idea y la materia. Lo físico y lo digital, lo pensado y lo hecho, lo virtual y lo actual. Depositada en espacios disgregados, protegidos y mayormente desconocidos, fabrican en derredor una cobertura misteriosa, hierática, que en su propia condición naturaliza su existencia misma.

Tecnologías como la realidad aumentada (*augmented reality*), o la realidad mezclada (*mixed reality*), se visualizan como herramientas de uso innovador pero rápidamente asimiladas en un número creciente de disciplinas, desde la ingeniería a la medicina, pasando por la mecánica, la enseñanza, el universo lúdico y, por supuesto, la construcción de entornos a través de la combinación de aspectos físicos y digitales de los que sobreviene, entre otras construcciones, el proyecto de arquitectura.

La construcción digital del mundo (o su duplicación) por medio de tecnologías de relevamiento satelital, de escaneo fotográfico, de algoritmos para seguimiento de conductas, de máquinas visibles e invisibles destinadas a mapear, replicar —e incluso predecir— el comportamiento humano, interpela a la humanidad sobre el futuro y abre una ventana de estudio sobre los caminos a seguir, cuáles son sus orígenes y cuáles son las posibles consecuencias, en todo nivel, hacia la constitución de una humanidad tecnológicamente asistida en todos sus niveles. Esto abarca, claro está, la construcción del ambiente que se habita, las necesidades que genera y los modos de atender esas necesidades teniendo como *input* la mayor cantidad de información jamás lograda en la historia del mundo.

RASTREANDO LOS ORÍGENES. INFORMACIÓN, FORMA E INFORMÁTICA

La información, como conjunto de datos procesados para transmitir una idea, concepto o mensaje con el propósito de incrementar el conocimiento sobre una materia o tema, tiene un rol de preeminencia en la actual sociedad del conocimiento. Su valor intrínseco se ve incrementado por la nueva sistematización que surge en torno a ella, construyendo conceptos como la sociedad, la economía y las ciencias informacionales.

La información es, asimismo, una vía del poder en todos los sentidos del término. No son casos aislados al día de hoy las pujas entre empresas y gobiernos por la obtención de información, de datos relevantes procesados o por procesar, como materia prima para la generación de tendencias de mercado, manipulación ideológica o estudios sociodemográficos, entre otros fines. Basta con repasar el escándalo de Cambridge

Analytica y Facebook con relación a las elecciones estadounidenses, solo por mencionar un hecho de gran difusión mediática.²

El valor de los datos se ha incrementado en forma paralela a la capacidad de procesarlos. Se ha llegado a proponer incluso la idea de que el universo entero consiste en un flujo informacional constante y que el valor de cualquier fenómeno o entidad está determinado únicamente por su contribución al procesamiento de datos (Harari, 2016). Esta «religión de los datos», conocida como «dataísmo», se postula como una posible primera religión digital. Para este enfoque emergente de corte poshumanista, no hay una frontera definida entre un procesador y un cerebro humano, pero sí un lenguaje común, que es el intercambio algorítmico.

Tanto Harari (2016) como Sadin (2013) coinciden en establecer que el dataísmo en cierto modo subvierte la pirámide tradicional del conocimiento. Hasta este momento, los datos se veían como el primer eslabón de una cadena de actividad intelectual. De los datos se obtenía la información, esta se destilaba para lograr el conocimiento, y de este último devenía la sabiduría. No obstante, estos y otros autores actuales consideran que la humanidad ya no es capaz de hacer frente al inmenso volumen de datos entre los que navega a diario. Clasificarlos, ordenarlos y procesarlos sin una capacidad de cómputo equivale al castigo de Sísifo, puesto que los datos se multiplican exponencialmente a cada intervalo de segundo.

¿Cómo assimilar los megavolumenes de información de manera que pueda resultar útil para la humanidad? La única respuesta es la capacidad de cómputo. Dada la asimilación algorítmica de la informática con las ciencias biológicas, queda construida además la necesaria pasarela de unificación entre la vida inteligente como se ha concebido tradicionalmente y la inteligencia artificial. Quizá pueda sonar algo chocante sostenerlo, pero la interpretación algorítmica de la vida es una visión científica que gana adeptos, y no solamente entre los dataístas. Hoy día, personas y comunidades son estudiadas como sistemas de procesamiento de datos. Lo mismo una colmena, una colonia de bacterias, un sistema de bosques, o una ciudad entera (Hidalgo, 2015). Esta visión holística como grandes sistemas de procesamiento de datos interrelacionados, que sería inviable

2. *New York Times*, 10/04/2018. <https://www.nytimes.com/es/2018/04/10/facebook-cambridge-analytica/>

sin la capacidad incremental de cómputo, abona la idea de la duplicación digital del mundo. Desde la época de las primeras escrituras, los papiros o las piedras cinceladas, hasta la invención de la imprenta tipográfica como primer medio técnico de reproducción y almacenamiento masivo en monasterios y bibliotecas, la información ha necesitado de soportes físicos. Es recién en 1948 que Shannon elabora las bases de la teoría de la información, y la aplicación del álgebra de Boole será el fundamento matemático para industrializar su procesamiento. Este punto de quiebre histórico redefine la relación de la información con la materia, o de la información con el soporte físico que le da su existencia.

Información, forma y procesamiento: la tríada que sustenta toda actividad humana en los albores de la cuarta revolución industrial. Sobre esta misma tríada descansan los cimientos de la producción de realidad física a través de realidad lógica o intangible expresada en bits. Esto, que es en sí la base de la fabricación digital, tiene orígenes en la técnica, en la experimentación y en la filosofía. Pero corresponde asimismo rastrear sus orígenes en la generación de proyectos en los trabajos e ideas exploratorias de algunos arquitectos precursores que, con su labor, contribuyeron a edificar y solventar el paradigma actual sin haber tenido aun un justo reconocimiento por ello. Es, de acuerdo con el autor de este artículo, el caso de Frederick Kiesler, Christopher Alexander, Cedric Price, Nicholas Negroponte y William J. Mitchell. Aunque ciertamente no fueron los únicos precursores, su trabajo merece ser destacado por su carácter innovador, de búsqueda y exploración metodológica y técnica, a la vez que por su comprensión temprana de la importancia del poder computacional en la praxis del diseño, particularmente en el campo de la arquitectura. A través de un análisis de las ideas y propuestas de estos cinco arquitectos, se intentará delimitar el marco teórico e histórico que da origen al paradigma informacional en el diseño y especialmente a la convergencia físico-digital en el campo de la arquitectura.

FREDERICK KIESLER Y LA ARQUITECTURA ELÁSTICA

De los cinco casos de estudio, probablemente el menos abordado por la Academia en la actualidad, acaso por su rareza teórica y su falta de obra construida, sea Kiesler, quien fue, no obstante, un gran visionario. O también vale decir un utopista de la arquitectura, justamente por ser un adelantado a su propio tiempo. Nacido en la actual Ucrania —a la sazón parte del Imperio Austro-húngaro— a fines del siglo XIX, se formó en Viena y tuvo algunas colaboraciones parciales con Loos antes de sumarse al movimiento De Stijl y entrar a pleno en contacto con las vanguardias artísticas del siglo XX y varios de sus principales promotores, que en las décadas siguientes moldearían su concepción del arte y la arquitectura.

La obra teórica de Kiesler debió, como otras, luchar contra la etiqueta de «arte degenerado» impuesta por el nazismo. Así, como muchos colegas, se vio obligado a emigrar a los Estados Unidos, donde desarrolló el core central de su pensamiento. En el mismo, la arquitectura es vista como una continuidad, como algo sin principio y sin final. La forma, para Kiesler, no sigue a la función sino que esta sigue a la visión; y la visión sigue a la realidad. Bajo esta premisa, propuso proyectos biomórficos, como estructuras capaces de moverse, de crecer y de desarrollarse, tal como lo haría un cuerpo vivo. Estos cambios acompañarían el devenir y la necesaria transformación de las cosas a lo largo del tiempo. Esta es la «elasticidad» de su arquitectura: una concepción que va más allá de lo organicista para asemejarse a una estructura viviente (y sintiente), simbiótica con sus usuarios.

Desde su vinculación con las vanguardias en general, con el mundo del teatro under, y con las exposiciones de arte dadaísta, Kiesler propone la idea de instalación, como aplicación puntual y concreta de sus ideas, buscando una integración de las artes. Para ellas, concibe y fabrica una serie de artilugios y artefactos mecánicos que sirven como soporte ingenieril a sus ideas de diseño. Kiesler es pionero en la utilización de autómatas o entidades mecánicas con una finalidad expresa, poseedores de una curiosa autonomía. Phillips (2017) asocia estas creaciones a la primera era de la cultura robótica.

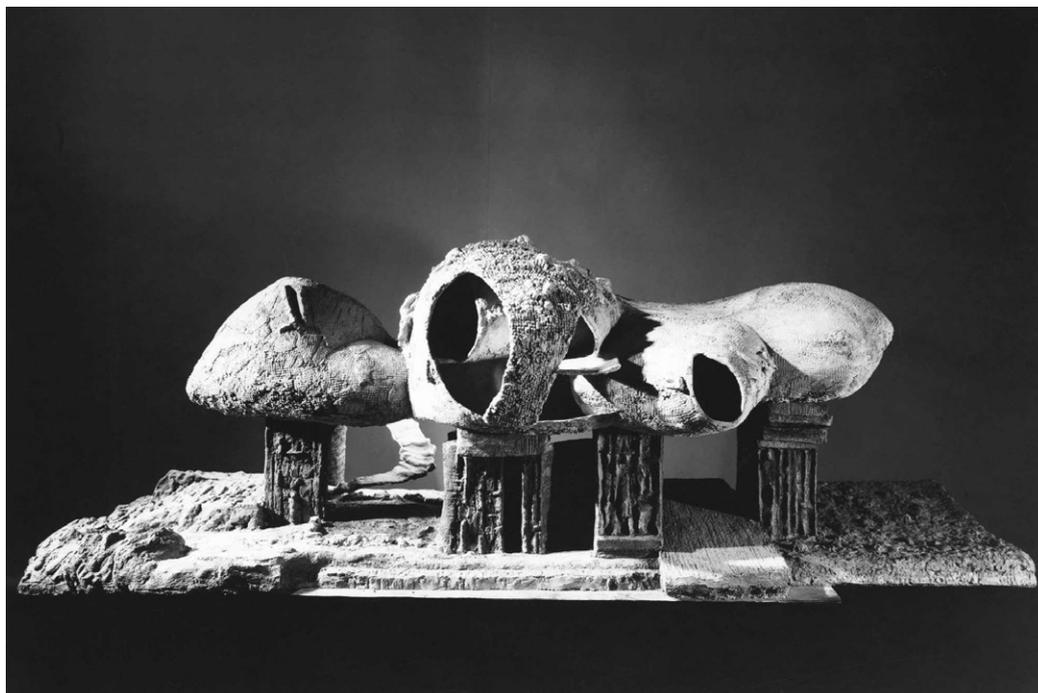


FIGURA 2 | Endless House, de Frederick Kiesler. Fuente: Imagen tomada del MoMA.

Muchas de las ideas de Kiesler, dado el estado de la técnica en que vivió, eran absolutamente impracticables. Aun así, proyectos nunca construidos, como la Endless House de 1924, suponen un inmenso desafío intelectual al establishment de su época, planteando desde una experiencia proyectual sus ideas filosóficas sobre el camino que debía tomar la arquitectura desde sus conceptos de correalidad, conectividad y biotécnica. (Fig. 02)

Estas ideas acompañarían a Kiesler hasta el final. Vagamente, se lo clasificó en varias oportunidades y sin mucho análisis como un «arquitecto surrealista». Se le restó valor y se lo colocó entre los artistas desprovistos de cualquier sentido de realidad.

Como arquitecto, prefirió seguir sus principios filosóficos que sumarse al estilo internacional, aun al precio de no contar con los metros cuadrados construidos de sus contemporáneos, o con el prestigio social de los teóricos del momento.

No obstante, el valor del aporte de Kiesler debe ser redescubierto. Su influencia es visible en la obra de Archigram, Greg Lynn y UNStudio, entre otros. La idea

de una espacialidad elástica, adaptable, biomórfica, repetible, y hasta viva, es el sustento de la espacialidad digital construida para ser visualizada mediante realidad virtual, realidad aumentada o realidad mezclada. Desde ellas, la construcción de espacios se libera de las limitantes de la física para permitir acaso la fluidez buscada por Kiesler. Su grotto for meditation es el antecedente principal de los pabellones y arquitecturas efímeras construidas mediante fabricación digital como proyectos de arquitectura experimental en la actualidad en escuelas y universidades. Asimismo, sus instalaciones artísticas son el prefacio perfecto de las espacialidades digitales que se crearían décadas más tarde.

Kiesler vivió y desarrolló sus ideas incluso antes de la existencia de los conceptos mismos de poder de cómputo, informática gráfica o desarrollo digital. Para este campo fértil debió nacer al menos ochenta años más tarde. Aun así, cabría la posibilidad de rastrear su influencia en desarrollos ulteriores y recientes, como las propuestas de Gramazio y Kohler para la utilización de agentes autómatas voladores (drones) en la creación de

espacios, o la definición tecnológica de fachadas responsivas y gramáticas formales de corte parametricista. Esto es materia de estudio todavía, y en este artículo se esboza como enunciado o hipótesis sobre la cual seguir investigando. La obra de Kiesler debe ser redescubierta; sus derivados y ulteriores interpretaciones, también.

CHRISTOPHER ALEXANDER: PATTERNS Y VISUALIZACIONES COMPLEJAS

A sus casi ochenta y dos años, Christopher Alexander es uno de los primeros pioneros en la búsqueda de la intersección entre la informática y la arquitectura, con una clara vocación innovadora. Reconocido no solo entre arquitectos sino también entre muchos ingenieros, Alexander es uno de los precursores de la idea de «arquitectura de sistemas». En ocasión de la conferencia Object-Oriented Programs, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA) de 1996, en San José, California, donde Alexander fue expositor invitado, declaró:

«It is the programs that control the shape of manufacturing, the shape of transportation industries, construction management, diagnosis in medicine, printing and publishing. I almost cannot name a facet of the world which is not already (...) under the influence of the programs that are being written to manage control those entities or those operations». (Alexander, 1999)

Su aproximación a la arquitectura es trascendente también para los no arquitectos. Es decir, para profesionales de otras áreas transversales o tangentes a la arquitectura en los años '50 y '60, cuando el acceso a la información era limitado y las estrategias de visualización e interpretación de la misma estaban aun en sus primeros pasos. Cuando en general las teorías arquitectónicas hacían foco en la representación del proyecto en formatos gráficos o mediante modelos espaciales, Alexander desarrolló una visión estructural, donde sometía a análisis relacionales las partes de un proyecto, asumiéndolo como problema integral, cuyas variables podían ser mapeadas, analizadas y abordadas de un modo sistémico. Conceptualmente, la teoría de Alexander consistía en crear un «sistema operativo» para la arquitectura.

Dentro de este sistema, se interesó por las relaciones de las partes con el todo en diferentes formas que trascendieron la expresión de geométrales o perspectivas, abarcando teoría de grafos, técnicas de cómputo, heurística, visualización social en red y análisis funcionales gráficos. Su concepción indicaba que la arquitectura era algo que debía ser testeado, abordado con un propósito de comprobación para lograr un diseño objetivamente correcto.

Es acaso esta concepción de moralidad, si cabe el término, la que le ha jugado en contra también en la historia reciente de la teoría de la arquitectura, donde su pensamiento no ha sido suficientemente abordado. Los arquitectos en general no conciben la arquitectura como algo a ser testeado. Sin embargo, programadores, ingenieros y desarrolladores digitales en general sí han encontrado en los métodos de Alexander un camino de análisis fundamental para su labor. Él fue un precursor:

«the computer is a tool. It is a wonderful, miraculous invention. The more we understand about the complex nature of form and the complex nature of function, the more we shall have to seek the help of the computer, when we set out to create form» (Alexander, 1964).

Como todo innovador dentro de una de las disciplinas más autorreferenciales, como lo es la arquitectura en el área de proyecto, no cosechó en su momento demasiada simpatía de sus colegas.

El pensamiento de Alexander tuvo un devenir evolutivo, mutó conceptualmente varias veces. En el inicio de la década de los '60 visualizaba todos los problemas de diseño como una estructura jerarquizada, con dos puntos de conexión entre cada requerimiento del proyecto. ¿La razón? Era lo que la potencia de cálculo de ese entonces le permitía lograr. Aun así, logró arquitecturas de datos de altísima complejidad. Fue hacia fines de los '60 cuando finalmente asumió los problemas de diseño como parte de una red compleja, con muchos más nodos y condiciones, y salió del diagrama en árbol para adoptar el *semilattice* y, con él, el lenguaje de patrones.

A *pattern language*, probablemente la obra más reconocida de Alexander junto a Ishikawa y Silverstein, fue publicada en 1977. En ella se describe un formato de red que organiza partes, vacíos y llenos, y establece relaciones entre los elementos del objeto de diseño. Dentro del «lenguaje de patrones» están implícitos los medios para compartirlo y las reglas generativas que le dieron origen, que son igualmente útiles para la creación de nuevos patrones.

Los patrones de Alexander pues, buscaron ser intuitivos e interpretativos. En pocas palabras, aptos para su uso, reúso y su modificación por terceros, de acuerdo con la necesidad de diseño. Después de todo, tal como Steenson (2017) hace notar, la obra se llama *A pattern language* y no *The pattern language*. Parece haber en la intención de Alexander una voluntad de invitar a reflexionar, no de dictar un manifiesto.

Las redes que definen los patrones pueden ser centralizadas, descentralizadas o distribuidas. Y en esta condición, cabe agregar un elemento por demás importante en la concepción de Alexander: la generatividad. Esto es, un sistema que opera como una regla formal tanto como un todo. «*Each part is a rule which describes what you have to do to generate the entity which it defines*» (Alexander, 1979). (Fig. 03)

El lenguaje de patrones cuenta con tres características esenciales. La primera, tener una lógica interna que determina su esencia; la segunda, los patrones producen efectos mayores que la suma de sus partes; y la tercera, los patrones poseen intrínsecamente las reglas y mecanismos para su propia propagación. En suma, el lenguaje de patrones provee de una sintaxis donde los patrones, combinados por el usuario, generan una semántica del lenguaje. Así como el código genético puede producir un ser humano, el sistema generativo puede producir formas. Y dentro de ellas, formas arquitectónicas.

La influencia de las ideas de Alexander estriba en su preclara disposición para la ejecución de sistemas generativos variables que, sirviéndose de la capacidad de cómputo de la que le tocó disponer en su época como profesional activo, consumaron algoritmos avanzados de gramática formal. De ellos, es tributaria buena parte del diseño paramétrico por medios informáticos, el llamado parametricismo, las mecanizaciones de corte,

y muchas de las estrategias de diseño que se aplican a la fabricación digital.

Más allá de la influencia notoria que Alexander ha tenido sobre el terreno de la producción de software y la arquitectura de sistemas, debe ser reivindicado como alguien que ha realizado contribuciones de alto valor a las dinámicas del diseño digital de la actualidad.

CEDRIC PRICE Y EL ORIGEN DE LA ARQUITECTURA RESPONSIVA

Famosa es la frase de Price donde dice que la tecnología es la respuesta y, acto seguido, se interroga sobre cuál era la pregunta.³ El entusiasmo tecnológico de Price, al margen de no ser un arquitecto con vasta obra, lo posiciona como un punto focal y una inspiración para otros colegas, como Piano y Rogers, quienes sí lograron cristalizar una amplia producción construida.

Discípulo de Buckminster Fuller, Price se anticipó en cierto modo al actual London Eye, puesto que propuso ya en la década de los '80 la construcción de una noria gigantesca sobre el Támesis y al Millennium Dome, obra de Richard Rogers.⁴

Iconoclasta por antonomasia, Price azuzaba a su audiencia con frases que, no por provocadoras, dejaban de ser proféticas:

*«it's worth mentioning that with the advent of the microprocessor and the silicon chip more and more people are going to be in the situation where they themselves, have to decide what to do. Society, economic circumstances, will make no demands on their time, but they'll live just as long, unless they kill themselves through boredom».*⁵

La mayoría de los proyectos de Price nunca se construyó. Era sobre todo un arquitecto teórico. Aun así, sus ideas se entroncaron con el paradigma computacional y tecnológico del momento. Quizá tres de esos proyectos nunca construidos son los que merecen mayor destaque por sus cualidades intrínsecas y su naturaleza responsiva, ligada directamente al paradigma tecnológico-computacional. Son los casos del Fun Palace (1963–1967), la Oxford Corner House (1965–1966), y The Generator (1976–1979). (Fig. 04)

3. *Technology is the answer, but what was the question?* es un audiovisual de 1979 tomado de una de las conferencias de Price en Londres. Puede visualizarse en el link:

<https://www.pidgeondigital.com/talks/technology-is-the-answer-but-what-was-the-question-/play/> - (fecha de consulta: abril de 2018).

4. «Cedric Price: the most influential architect you've never heard of». Artículo en The Independent, UK. Puede visualizarse en el link: <https://www.independent.co.uk/arts-entertainment/architecture/cedric-price-the-most-influential-architect-youve-never-heard-of-9852200.html> - (fecha de consulta: abril de 2018).

5. Ibidem.

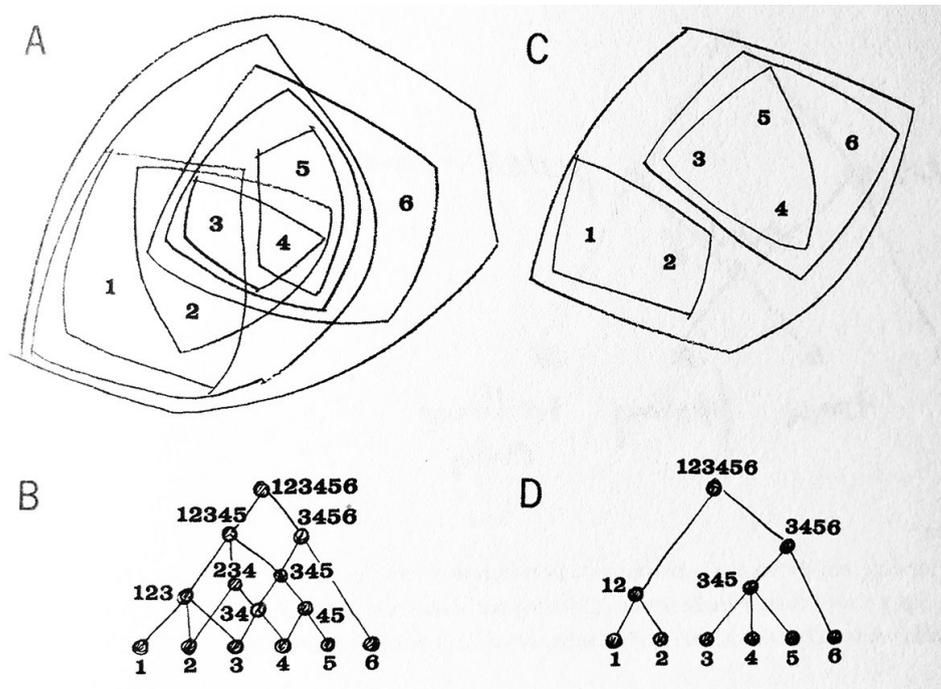


FIGURA 3 | Semilattices y estructuras árbol. Fuente: *Imagen tomada del libro A city is not a tree*, de Christopher Alexander.

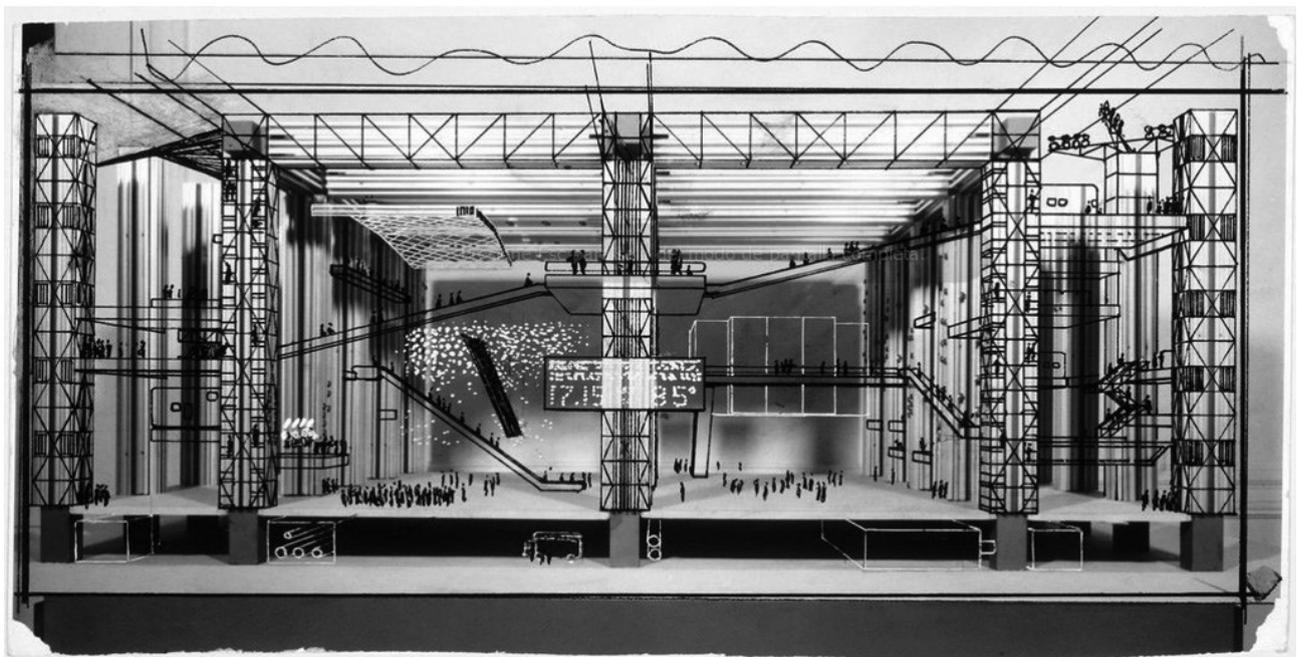


FIGURA 4 | Proyecto del Fun Palace. Fuente: *Imagen tomada de Interactive Architecture Lab*.

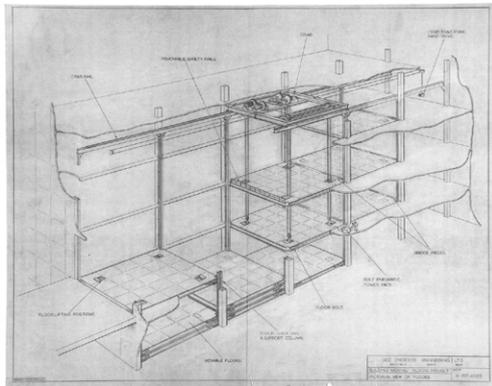


FIGURA 5 | Proyecto de la Oxford Corner House que muestra el sistema de pisos móviles. Fuente: Imagen tomada del Canadian Center for Architecture.

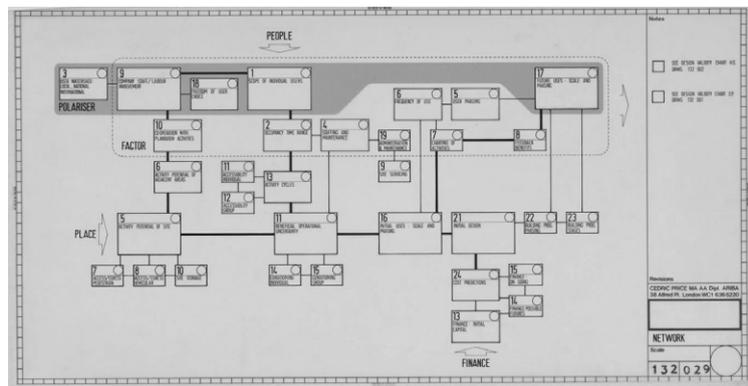


FIGURA 6 | The Generator. Esquema de funcionalidad de los cubos. Fuente: Imagen tomada de Designscience.

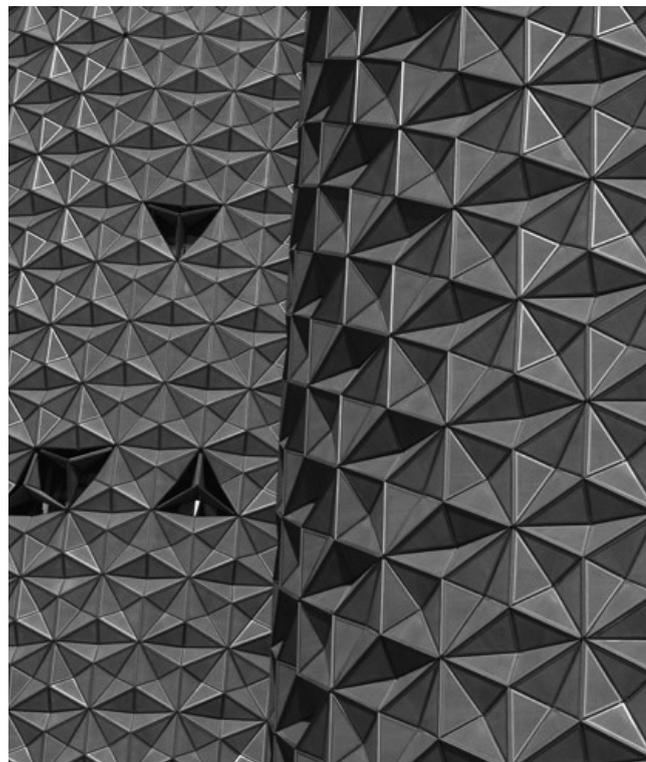
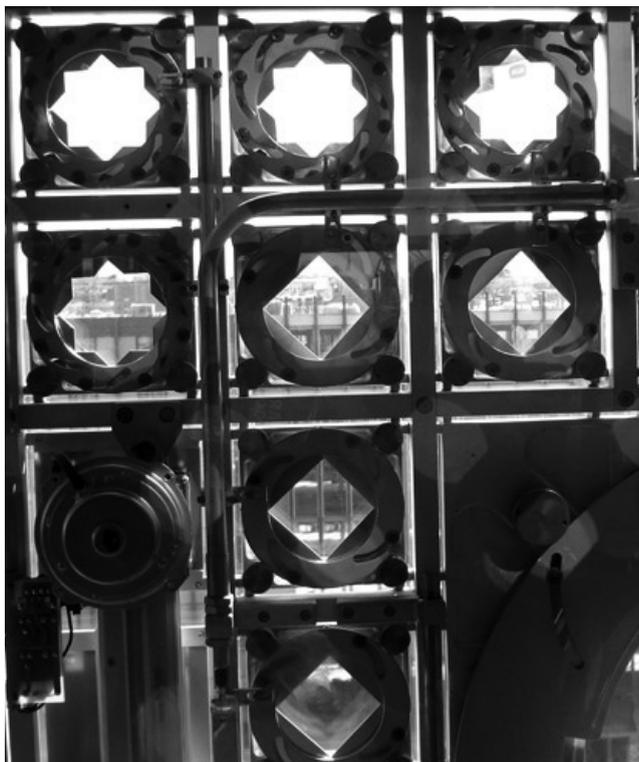


FIGURA 7 | Izquierda, fachada interactiva del Instituto del Mundo Árabe (1987). Derecha, piel responsiva de las Al Bahar Towers (2012). Fuente: Fotografías del autor.

En el primero de ellos trabajó en colaboración con el director de teatro Joan Littlewood; realizó un proyecto de instalaciones cibernéticas a escala arquitectural y generó un edificio capaz de responder y adaptarse a los usuarios. La noción de «responsividad», que se consumaría bastante más adelante, tiene en este proyecto el primer antecedente reconocible en el mundo de la arquitectura. Para el mismo, Price invita a participar a Gordon Pask, quien contribuye a la creación del «teatro cibernético», incluyendo sistemas de control capaces de dar a la audiencia participación interactiva con el edificio. Llegaron a proponer hasta una consola de información que podría atender preguntas de los asistentes y dar respuestas predefinidas. Entrar en el Fun Palace sería como entrar en una red de información participativa.

El segundo proyecto referido es la Oxford Corner House, de pisos móviles, con un entorno informacional logrado a través de pantallas localizadas en diversos puntos con el propósito de mostrar contenidos de interés cultural cambiantes. Tenía la capacidad de albergar setecientas personas, una especie de red humana interactiva conectada con diferentes puntos del edificio y las tecnologías más sofisticadas de la época: pantallas de rayos catódicos, circuitos cerrados e impresoras de matriz de puntos. Los pisos, a su vez, serían móviles para la elaboración de diferentes espacios conforme a la necesidad de cada momento y controlados por una poderosa IBM 360 ubicada en el basamento del edificio. También en ese espacio se localizarían simuladores de manejo con propósitos formativos y, en la última planta, un planetario. Muchas de estas ideas resultaron utópicas en cuanto a las posibilidades técnicas, de concretarse en la época en que se propusieron. Algunas de ellas se formalizaron años después en la industria en diversos campos. Los propios sistemas conversacionales de voz, como Siri o Cortana, instalados en los *smartphones* actuales, son tributarios del concepto de *conversational machine* de Price, expuesto en este proyecto. La tecnología finalmente adoptó varias de sus ideas vanguardistas con cierta celeridad. Para la arquitectura faltaría un tiempo más aún. (Fig. 05)

El tercer ejemplo a comentar es The Generator, un proyecto de fines de la década de los '70. En este proyecto, Price propone un diseño de doce cubos móviles, combinables, movibles a través de grúas y estructuras

auxiliares, de acuerdo a a voluntad de los usuarios. La movilidad estaba regida por procesadores y microcontroladores vinculados entre sí, con la capacidad asimismo de poder reconfigurar a su propia decisión la estructura general si los usuarios no tomaban decisiones de cambio en un período prolongado, como modo de evitar el tedio de mantener la misma configuración. (Fig. 06)

Cualquiera de estos ejemplos estaba décadas adelantado a su tiempo. Quizá también por eso mismo su materialización fue imposible. De todos modos, el objetivo de Price parece haber sido sobre todo una invitación a pensar el futuro, incluso haber contado con la prensa de sus contemporáneos de Archigram o con la validación y consolidación que da *establishment* de los historiadores, Price fue un innovador y un pensador fuera de su tiempo. El haber trabajado con Fuller sin duda contribuyó a moldear estas cualidades.

Price no llegó a conocer a Negroponte. No obstante, fue a través de Gordon Pask, quien trabajó para ambos, que Price obtuvo una copia del libro *Being Digital*, de 1995. Su comentario fue «*Good. But dated*» (Stenson, 2017).

La interactividad y responsividad de la arquitectura, tanto como su integración con lo tecnológico y su corte cibernético, marcaron la obra de Price.

El primero de esos conceptos fue llevado a la práctica a fines de los '80 y principios de los '90, con ejemplos de costos elevadísimos, como alguna obra de Jean Nouvel o Renzo Piano.

El segundo concepto es mucho más reciente en su desarrollo constructivo. Las pieles responsivas inteligentes comenzaron a lograrse a principios de esta década. Primero experimentalmente en laboratorios de fabricación digital y luego en propuestas concretas de estudios de arquitectura. Si bien hay mucho para investigar aun en este tema, la idea de piel responsiva como modo de construir un edificio responsivo a estímulos variados, variables y mensurables por medios informáticos, comienza a tomar forma en varios proyectos de la actualidad. (Fig. 07)

Michael Fox (2016) publicó recientemente una muy interesante recopilación de trabajos titulada *Interactive architecture, adaptive world*, donde se muestran las últimas ideas y proyectos realizados sobre la interactividad y responsividad en pieles y fachadas y en edificios

en general. No aparece más que una sola y tímida alusión a la obra de Price, junto a otros nombres mucho menos relevantes. También es justo decir que es una recopilación de proyectos y no un estudio genealógico de la técnica. Sin embargo, correspondería, si efectivamente se entiende la acción proyectual mediante las nuevas tecnologías como un aporte a la construcción colaborativa, reconocer el valor de quien ha encendido una de las primeras llamas en este tema. Reconocer las raíces es importante, sobre todo en aras de identificar de dónde vienen las ideas y definir hacia dónde llevarlas de aquí en más.

NICHOLAS NEGROPONTE Y LAS INTERFACES PARA LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Acaso el nombre más reconocible de los cuatro, Nicholas Negroponte ha logrado posicionarse mundialmente como un referente de la tecnología. A tal punto, que la mayoría de las veces se olvida presentarlo como un arquitecto. Tal ha sido su involucramiento con la tecnología desde su posición en el MIT, que su plan conocido como *One Laptop Per Child* ha trascendido fronteras para formar parte de políticas nacionales en unos cuantos países. Entre ellos, el nuestro.⁶

Negroponte es autor del libro *Being digital*, que se posicionó como de vanguardia en la década de los '90 por haber puesto en la palestra una serie de postulados disruptivos con relación a las formas de desarrollo y aplicación tecnológica en varios ámbitos. Él esboza en este libro además, aunque en un estado muy embrionario, la idea de un paralelismo entre un mundo de átomos y uno de bits.

En una breve aproximación a su carrera, se puede decir que el actual Media Lab del MIT tuvo como antecesor el Architecture Machine Group, que fuera fundado por Negroponte y Leon Groisser y operara entre los años 1967 y 1985. El cometido del AMG era integrar la arquitectura con la inteligencia artificial, la informática y la ingeniería en general. Solían trabajar con otros grupos de investigación dentro del MIT, en las áreas de psicología cognitiva, arte, cine, y *human-computer interaction* (HCI). Colaboraron asimismo con agencias de defensa del gobierno y recibieron fondos de DARPA, lo cual les dio acceso a la experimentación con tecnolo-

gías hasta ese momento exclusivas del ámbito militar. El resultado de todo esto fue tan rico como heterodoxo para la práctica proyectual de la época. Y más allá del devenir y desarrollo posterior en los tiempos más recientes del Media Lab, corresponde comentar algunos de los proyectos realizados en la época de AMG que, por su impronta innovadora, representaron hitos en el campo de la integración digital con el diseño.

Quizá el primer trabajo que merezca ser comentado es *The architecture machine*, de 1970. Se trata de un libro cuya dedicatoria, curiosamente, fue «a la primera máquina que pueda comprender este gesto» (Negroponte, 1970). El libro, seguramente influenciado por el entonces destacado artículo «Man-computer symbiosis», de Licklider, pronostica un futuro no tan distante en el que las máquinas arquitecturales convivirán con los humanos. De hecho, no serán instrumentos para el diseño sino diseños para ser habitados. El proceso de diseño se establece como un diálogo entre inteligencias humanas y artificiales y logran un punto de equilibrio ideal. Argumenta, de modo provocativo, que las máquinas arquitecturales necesitarían habilidades sensoriales como un ser humano: «*It is so obvious that our interfaces, that is, our bodies, are intimately related to learning and how we learn, that one point of departure in artificial intelligence is to concentrate specifically on the interfaces*» (1970). La información sensorial directa sobre las máquinas generaría un input confiable y seguro sobre el que operar desde una inteligencia artificial. Esto interpela además sobre cuán cerca debe estar la máquina de un ser humano y cuánto tiempo podría esta relación demorar en lograr una simbiosis completa. O tal vez una integración total.

Las máquinas propuestas por Negroponte son de escala arquitectónica pero también territorial. Estas máquinas arquitecturales de la ciudad no se definen como periféricos informáticos sino como entornos inmersivos inteligentes, capaces de gestionar información a todo nivel, desde un usuario hasta un sistema entero de transporte. Embrionariamente, pero con una fuerza notable, Negroponte fue en cierto modo el precursor de lo que luego sería el concepto de *Smart city*. (Fig. 08)

De hecho, SEEK es el nombre de unos de los proyectos más destacables del período de operatividad del grupo. Se trata de una ciudad diseñada para aprender

6. Ver información alusiva en página web de Fundación Ceibal. <https://www.fundacionceibal.edu.uy/es/page/acerca-de> - (fecha de consulta: mayo de 2018).

FIGURA 8 | Hamsters en el experimento SEEK. Fuente: Imagen tomada de CiberneticZoo.



de sus habitantes. Construida mediante cubos, un brazo robótico era capaz de estudiar los movimientos de los habitantes y tenía la tarea de mover los cubos de manera de evitar colisiones, a través de la predicción y del aprendizaje sobre la marcha. SEEK podía aprender, definir nuevos modelos de comportamiento y ordenar los cubos de acuerdo con los cambios detectados. Estos cambios aportaban la dosis de caos real en el sistema y lo obligaban a «pensar» soluciones alternativas y adecuadas a cada caso. El resultado de este experimento fue una aplicación a la vida urbana bajo el modo de interpretarla de una máquina. Aunque en este experimento los habitantes eran hamsters, en cierto modo fue la consagración de las primeras ideas de Negroponte y el éxito del grupo, que continuó desarrollando una actividad constante, con la colaboración intermitente, además, de Gordon Pask, que fue un socio circunstancial en unos cuantos proyectos.

El aporte más importante de Negroponte en esta etapa fermental de su carrera, donde contribuyó a mode-

lar un nuevo modo de pensar la arquitectura, fue quizá el haber expandido las fronteras de la misma incorporando interrelaciones entre el proyecto y la ingeniería, la inteligencia artificial, e incluso el arte. De hecho, sus contribuciones a la realidad virtual fueron posteriormente tomadas por la empresa Atari Research en el desarrollo de los primeros videojuegos. (Fig. 09)

Negroponte logró trascender la idea de Le Corbusier de la máquina de habitar para proponer algo mucho más extremo: una arquitectura capaz de responder a sus usuarios, aprender de ellos para poder mutar y lograr una mixtura que buscaba ser perfecta y así disolver los límites entre lo humano y lo digital.

Este aporte resulta por completo esclarecedor al momento de rastrear las ideas que engendraron los conceptos actuales de integración tecnológica, o las exploraciones en torno a ciertas aristas del big data y al procesamiento de la marea de datos urbanos, control inteligente de flujos y demás entornos de convergencia físico-digital.

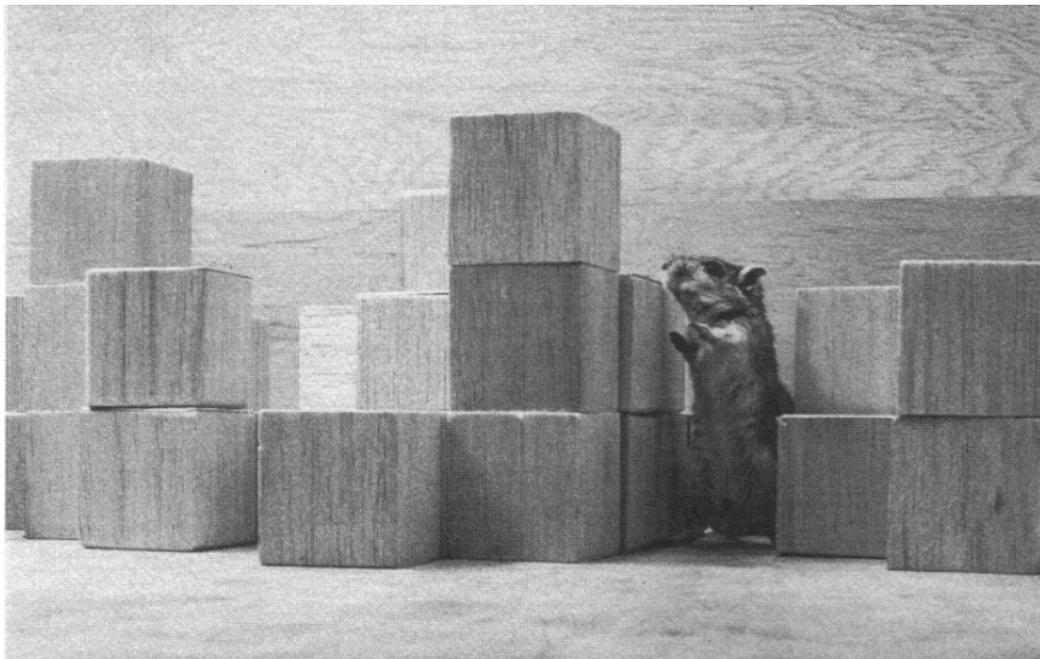


FIGURA 9 | Hamsters en el experimento SEEK. Fuente: Imagen tomada de CiberneticZoo.

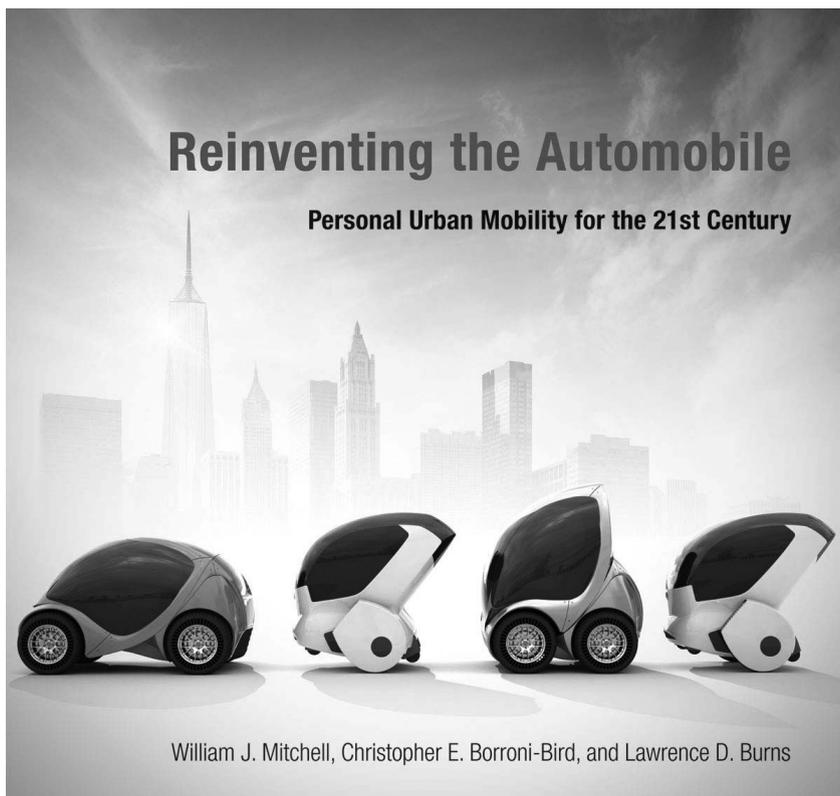


FIGURA 10 | Tapa del libro *Reinventing the Automobile. Personal Urban Mobility for the 21st Century*, de William J. Mitchell. Fuente: Imagen libre de internet.

WILLIAM J. MITCHELL Y LAS CRIATURAS CONECTADAS

Mitchell fue, además de investigador y arquitecto, un contemporáneo de Negroponte. Debido a su pertenencia al MIT Media Lab, laboratorio que sucedió al Architecture Machine Group, integró proyectos conjuntos y puede decirse que conocía una buena parte de sus ideas. Aun así, Mitchell también destacó como un teórico con ideas propias.

La razón por la que Mitchell es incluido en esta exploración por los antecedentes conceptuales de la convergencia físico-digital sobre la que trata este artículo, radica en que su pensamiento de alguna manera amalgama las ideas de Alexander, Price y Negroponte y abre un camino hacia lo que Mario Carpo (2012) llama «el giro digital». Es sobre todo en dos de sus libros, *e-Topia*, y *ME++ the cyborg self and the networked city*, donde Mitchell plantea una idea de ciudad como la metáfora de un cuerpo/red con ramificaciones y terminaciones nerviosas que pueden ser físicamente aumentadas o expandidas mediante una intervención algorítmica inteligente, nutrida de los insumos e inputs que proveen los aparatos sensoriales. Esto es, un sistema cognitivo complejo y en mutación constante. (Fig. 10)

Algunas de las particularidades a las que alude son las nociones de virtualidad, registro (memoria) e individualidad. Lo virtual es lo que está sin estar, lo desterritorial. Y este concepto, en el contexto de lo que él denomina arquitectura ambulante (*ambulatory architecture*), refleja la idea de integración entre ese sistema inteligente que es la arquitectura —y la ciudad en la que se inserta— y la humanidad. La tendencia a la miniaturización en las piezas encargadas de la gestión de información y su capacidad creciente promueven una posibilidad de registro y memoria que es capaz de disolver los límites de la individualidad y el entorno. Lo humano es parte de la máquina y la máquina parte de lo humano. La microescala, la miniaturización, pone la lente sobre la indefinición de la materia. Los átomos son átomos, más allá de a quién puedan pertenecer. O a qué (Mitchell, 2003).

Las «criaturas conectadas», pues, a las que también denomina *wireless bipeds*, se mueven equipadas por chips de posicionamiento global, RFID, puntos de acceso a Internet, y están capacitadas para codificar y decodificar la información urbana, tanto a nivel territorial como doméstico.

Asimismo, las criaturas conectadas tienen un sistema de producción innovador, descentralizado y desterritorializado. Lo llama *footloose fabrication* (Mitchell, 1999). En este sistema, los objetos pueden pensarse en un sitio, programarse en otro, fabricar sus componentes en un tercer lugar y comercializarse en un cuarto. La nueva lógica productiva permite la interconexión en red alcanzando una integración de intereses, conveniencias económicas y aprovechamiento del know how como no se ha visto antes. Es una muestra de cómo puede funcionar la inteligencia colectiva asistida por las cualidades de la integración en red. La producción de arquitectura y la producción de ciudad, por supuesto, no escapan a la misma dinámica, máxime en el entendido de que se trata de componentes maquínicos de una estructura mucho mayor.

Este modo de producción llevaría asimismo a una forma de habitar distinta, nómada o *electronomadic*, como la denomina. En ella, la relación frecuente entre cuerpos en movimiento y estructuras sedentarias acabaría por colapsar. Por lo tanto, las estructuras urbanas deberían amoldarse a la flexibilidad necesaria y permitir un afincamiento nómada y la adaptación a nuevos y futuros escenarios posibles.

Mitchell pronostica el declive y caída del «proyecto de arquitectura» en el sentido tradicional. La desestabilización del paradigma persona-lugar y la separación de funciones, que en cierto modo marcaron la tendencia del siglo XX con el modernismo, llegan a la obsolescencia cuando las divisiones espaciales deben pensarse como una multiplicidad funcional hecha posible por dispositivos interconectados y acciones que se llevan a cabo conjuntamente entre personas localizadas en diferentes partes del globo. A su vez, los controladores del proyecto estarían sujetos a software, con inputs variables de una sociedad nómada.

En este contexto, el programa de arquitectura, entendido como la lista predefinida de requerimientos espaciales y funcionales, pierde sentido. La nueva arquitectura deberá ser adaptable, flexible, nutrida de datos en tiempo real y capaz de procesar inteligentemente esos datos. En una palabra, responsiva, con toda la carga tecnológica que este término tiene.

La seguridad de lo físico pierde relevancia frente a la seguridad de lo electrónico. Al no ser necesarias en este nuevo escenario fortalezas defensivas, al tratarse de un mundo sin asedios por guerras, la seguridad debe centrarse en la información. Esta empieza a ser el bien máspreciado, y acaso también el punto focal sobre el cual centrar la nueva seguridad a cuidar. La máquina custodia aquello que lo humano ya no es capaz de procesar solo. La integración final da como resultado el «cyborg y la ciudad en red».

Mitchell fue además uno de los constructores del paradigma de las *Smart cities*. Para estas ciudades inteligentes diseñó una buena cantidad de proyectos y equipamientos, al tiempo que desarrolló su gran aporte teórico. Destacan sus diseños automotrices libres de contaminación y conectados en red.

Al día de hoy, el pensamiento de Mitchell está más que vigente y, de hecho, muchas de sus ideas comienzan a ponerse en práctica y a asumirse como válidas por parte de la academia, sobre todo entre las universidades de vanguardia en arquitectura e ingeniería de los países centrales.

La convergencia físico-digital toma y aplica varios conceptos manejados por Mitchell, entre los que se incluyen el *mass-customization*, la desterritorialización y la producción como acción virtual.

A MANERA DE CONCLUSIÓN. CLAVES DE COMPRENSIÓN EN CONSTRUCCIÓN DINÁMICA

No sería ajustado a la realidad asumir conclusiones acabadas en un entorno de estudio tan dinámico como el que se ha presentado. No por la reinterpretación y puesta en valor de lo que fue, sino por los escenarios que ese pasado y actual presente pueden prefigurar. No obstante, la recuperación en clave poética de los antecedentes proyectuales de los precursores puede y debe

constituir una meseta de apreciación, un punto desde el cual mirar hacia atrás y proyectarse hacia adelante de cara a la nueva generación proyectual. La duplicación digital del mundo, su existencia en bits y átomos, física y digital, constituye no solo un paradigma de estudio sino probablemente una plataforma general de abordaje de la cuestión proyectual en la actualidad y en el futuro inmediato.

La espacialidad «elástica», las arquitecturas biomórficas, la creación de patrones complejos y de gramáticas formales autónomas, la producción de formalidades responsivas, la conexión de partes como interfaces estructurales, o la interconexión permanente de entornos y usuarios hasta el punto de disolver las diferencias entre ambos, son algunos de los parámetros de los que deben dar cuenta las nuevas adopciones de estrategia proyectual. La investigación de los antecedentes históricos es una punta de estudio que, sin dudas, enriquece y estimula la producción de conocimiento. Pero allende este valor intrínseco, su valor utilitario en la praxis arquitectural radica en la formulación de interrogantes que no tendrán, por supuesto, respuestas acabadas pero que sí servirán para construir y potenciar el debate al interno de las universidades y centros de enseñanza de diseño: ¿qué valor se asigna a la tecnología en la enseñanza de proyectos? ¿Pueden los principios clásicos del diseño coexistir en el nuevo paradigma disruptivo de lo digital? ¿Se debe dejar la innovación tecnológica en manos de unos pocos «adelantados» o, por el contrario, se debe estimular su asimilación desde la academia? ¿Están las universidades preparadas para integrarse a la convergencia físico-digital a la hora de la enseñanza de proyectos?

Las respuestas a estas y otras preguntas no están aun dadas. De su definición dependerá, en buena medida, el camino a seguir en la generación del perfil de arquitecto que los nuevos tiempos demandan. ■



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, C.** (1964). *A much asked question about computer and design*. Boston: Boston Architectural Center.
- (1979). *The timeless way of building*. Oxford: Oxford Press.
- (1999). The origins of pattern theory: the future of the theory and the generation of a living world. *IEEE Software*, 16(5).
- CARPO, M.** (2011). *The alphabet and the algorithm*. Boston: MIT Press.
- (2017). *The second digital turn. Design beyond intelligence*. Boston: MIT Press.
- CHRISTENSEN, C.; HORN, M. y JOHNSON, C.** (2008). *Disrupting class: How disruptive innovation will change the way the world learns*. New York: McGraw Hill.
- FOX, M.** (2016). *Interactive Architecture*. New York: Princeton Architectural Press.
- HARARI, J.N.** (2015). *Homo Deus. Breve historia del mañana*. Madrid: Debate.
- HIDALGO, C.** (2015). *Why information grows: the evolution of order, from atoms to economy*. New York: Basic Books.
- KURZWEIL, R.** (1999). *La era de las máquinas espirituales*. Madrid: Planeta.
- (2005). *The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Penguin.
- MITCHELL, W.J.** (1999). *e-Topia. «Urban Life, Jim—But Not As We Know It»*. Boston: MIT Press.
- (2003). *Me++: The cyborg self and the networked city*. Boston: MIT Press.
- NEGROPONTE, N.** (1970). *The Architecture Machine*. Boston: MIT Press.
- (1995). *Being digital*. New York: Vintage Books.
- PASK, G.** (septiembre de 1969). “The Architectural relevance of Cybernetics.” En *Architectural Design*.
- PHILLIPS, S.** (2017). *Elastic Architecture. Frederick Kiesler and Design Research in the First Age of Robotic Culture*. Boston: MIT Press.
- SADIN, E.** (2013). *La humanidad aumentada. La administración digital del mundo*. Buenos Aires: Caja Negra Editores.
- STEENSON, M.W.** (2017). *Architectural Intelligence. How designers and architects created the digital landscape*. Boston: MIT Press.