



DEARQ - Revista de Arquitectura / Journal of
Architecture
ISSN: 2011-3188
dearq@uniandes.edu.co
Universidad de Los Andes
Colombia

Villate, Camilo; Tamayo, Brando
La práctica de la arquitectura como racionalización sistémica
DEARQ - Revista de Arquitectura / Journal of Architecture, núm. 6, julio, 2010, pp. 178-199
Universidad de Los Andes
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=341630315018>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

La práctica de la arquitectura como racionalización sistémica

The practice of architecture as a systemic rationalization

Recibido: 23 de febrero de 2010. Aprobado: 29 de junio de 2010.

Camilo Villate

Profesor Asociado, Departamento de Arquitectura, Universidad de los Andes, Bogotá. Arquitecto de la Universidad Nacional, con maestría en Tecnologías de la Construcción.

cvillate@uniandes.edu.co

Brando Tamayo

Arquitecto de la Universidad de los Andes, Bogotá. Asistente de proyectos del Departamento de Arquitectura de la misma universidad.

b-tamayo@uniandes.edu.co

Resumen

La práctica del diseño arquitectónico es de singular complejidad al involucrar gran cantidad de variables. La incomprensión de esta complejidad ha implicado la reducción del discurso general de la profesión, hasta ser concebido hoy en día como un problema netamente formal, en detrimento de las respuestas de diseño con relación a los múltiples requerimientos implícitos de la arquitectura. Para contrarrestar este reduccionismo es preciso recurrir a la construcción de modelos teóricos que permitan evidenciar el significado de diseñar un edificio. Esto se realiza por medio del entendimiento de conceptos de sistemas complejos aplicados a la arquitectura. Se propone, por un lado, aportar en la construcción de modelos pedagógicos y, por el otro, definir un método racional para abordar casos de estudio.

Palabras clave: sistemas, sistemas complejos, funciones objetivo, variables, complejidad multivariable, integración, sistema sinérgico, modelo teórico, investigación operativa, Teoría General de los Sistemas.

Abstract

The practice of architectural design is of unique complexity, as it involves many variables. The misunderstanding of this complexity has led to the reduction of the general discourse of the profession, to be conceived today as a purely formal problem, causing a detriment of design responses in relation to the multiple requirements implicit in architecture. In order to counteract this reductionism it is necessary to construct theoretical models that are able to make clear what it means to design a building. This is achieved by understanding notions of complex systems applied to architecture. The authors propose, on one hand, to contribute to the construction of educational models and, on the other hand, to define a rational method for addressing case studies.

Keywords: systems, complex systems, aim functions, variables, multi-variable complexity, integration, synergistic system, theoretical model, operative research, General Systems Theory.

El mundo se puebla de artefactos que el hombre ya no puede controlar, por lo que se pone en entredicho la capacidad de la arquitectura para interpretar la realidad y conducirla hacia un orden intelígerible.

Carlos Martí Arís¹

La incomprendión de la complejidad de la práctica arquitectónica: argumento inicial

Ante el objetivo inicial de la investigación “Casos de estudio como apoyo a la enseñanza de la arquitectura”, propuesto en el Departamento de Arquitectura de la Universidad de los Andes, que consiste en estudiar ejemplos de arquitectura local para lograr generalizaciones en la forma constructiva de nuestro entorno, surge la propuesta de un método de análisis que permita transmitir explicativa y razonadamente por qué y cómo se generan edificaciones como resultado de un proceso objetivo, y no de un proceso subjetivo del diseñador.

Buena parte de la práctica arquitectónica contemporánea no se distingue (aunque no se pueda generalizar) por ser un proceso razonado. Por el contrario, se caracteriza actualmente por un recurrente reduccionismo² del problema general arquitectura determinado por la fijación en formas arquitectónicas que impiden la construcción de edificaciones que den respuesta satisfactoria a la gran cantidad de requerimientos funcionales impuestos por naturaleza a los arquitectos,³ y que se valida en el tiempo, permea a los estudiantes y pone a la forma como el objetivo final de la práctica arquitectónica.

Este reduccionismo es debido a la singular complejidad que caracteriza el proyectar en el mundo contemporáneo, donde numerosos requerimientos técnicos, variables de lugar, de función, etcétera, determinan un proceso confuso y difícilmente aprehensible. Igualmente, esta falta de entendimiento se

debe a la inexistencia de modelos de comprensión de la práctica arquitectónica⁴ que logren ofrecer un panorama global de la tarea del arquitecto y del diseñar, sabiendo que teorías existentes como los cuatro elementos de Gottfried Semper, que cuenta con aspectos materiales constitutivos y funcionales pero no de proceso de diseño de una edificación,⁵ o la tríada vitruviana, que habla de macrosistemas que engloban ramas de componentes y que por sí solas sólo se refieren a características de una edificación, no abordan la totalidad del problema.

En conclusión, si se busca hablar de casos de estudio explicativos que logren el entendimiento de procesos particulares de diseño que generen edificaciones técnicamente ejemplares, se hace indispensable recurrir a nociones de sistemas complejos,⁶ o sistemas dinámicos, sabiendo que el diseño arquitectónico es uno de ellos, pues cumple todos los requerimientos para ser abordado desde esta perspectiva: grados y escalas de variables, relaciones diferenciales y dependientes entre éstas, resultados diferenciales de las mismas variables generales, equifinalidad⁷ de las variables en la construcción de un objeto complejo como un edificio, entre otros.

De esta manera, se procedió a crear un modelo de entendimiento de la realidad del diseño arquitectónico bajo premisas objetivas con el fin de generar un método de análisis que transmita consecuente y razonadamente el por qué y el cómo se produce una obra arquitectónica y sus respuestas técnicamente apropiadas.

1 Martí Arís, *La cimbra y el arco*, 79.

2 Montaner, *Sistemas arquitectónicos contemporáneos*, 6.

3 Silber, *Architecture of The absurd*, 35.

4 Villazón, *Programa de Arquitectura de la Universidad de los Andes*, 1.

5 Heylighen, *In Case of Architectural Design*.

6 La complejidad en términos científicos es “la interacción constante entre sistemas y variables con fines de complementación funcional de un conjunto”. Moe, *Integrated Design in Contemporary Architecture*, 5-9.

7 La equifinalidad se define como los elementos constitutivos de un conjunto que persiguen los mismos objetivos generales: la construcción de un sistema. Katz y Kahn, “Common Characteristics of Open Systems”, 100-101.

Sentando bases teóricas para el análisis racional de casos: objetivos

De acuerdo con lo dicho, este documento indaga por la concreción de un modelo teórico racional de comprensión del proyecto arquitectónico que posteriormente permita el análisis y exposición objetiva de casos de estudio para el apoyo a la enseñanza. El objetivo esencial es el de crear un modelo de comprensión sobre la complejidad del sistema general arquitectura, que pretende ser un “esquema teórico de una realidad compleja que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento”,⁸ permitiendo alcanzar tres objetivos esenciales:

- Construir bases teóricas para la posterior formulación de metodologías aplicadas que ayuden a la comprensión de la realidad multivariable de la práctica del diseño arquitectónico en respuesta a objetivos específicos y a la función social y ambiental de la arquitectura, con el fin de promover la producción de edificios consecuentes y responsables con la realidad del entorno. Estas bases podrían aportar en la construcción de modelos pedagógicos en la enseñanza de la arquitectura, acorde a la realidad de complejidad de la profesión.
- Concretar un modelo teórico que permita abordar deductivamente⁹ el análisis racional de casos de estudio bajo una teoría explicativa aplicada, relativa a la complejidad de un hecho arquitectónico. Este modelo teórico, sumado al análisis de casos en el contexto de Bogotá, permitirá deducir y racionalizar la forma de interacción y relación típicas entre variables, y por ende, identificar soluciones innovadoras.
- Paralelamente, se busca identificar los hechos que impiden la concepción del diseño arquitectónico como una práctica racional y consecuente con la complejidad multivariable de la profesión, con la finalidad de formular soluciones para llegar a dicha concepción.

8 *Diccionario de la Lengua Española [online]*, “Modelo”. Disponible en <http://www.rae.es>, recuperado: junio de 2010.

9 El método deductivo parte de conceptos universales o generales para su posterior aplicación en casos particulares. Por otro lado, el método de análisis inductivo parte del análisis de casos para generalizar teorías o leyes. Atocha, “Teoría de argumentos”.

La Teoría General de los Sistemas como estrategia

Para lograr estos objetivos se pretende recurrir a la Teoría General de los Sistemas (TGS),¹⁰ y con ella identificar el funcionamiento, las partes y su posición y relevancia dentro del sistema complejo arquitectura. Esto se abordará mediante la aplicación de conceptos de la investigación operativa, como aquella que intenta desentrañar el funcionamiento interno de un sistema, y que es aplicable a cualquier realidad o procesos de relativa complejidad, dentro de los que se puede clasificar el diseño arquitectónico.

En resumen, lo que se propone es la racionalización de la práctica arquitectónica, sin ser ésta una innovación teórica ni epistemológica, sino la simple aplicación de teorías existentes como la TGS. Esta teoría ya ha sido empleada masivamente desde su nacimiento en los años sesenta en diversas disciplinas sociales y científicas como la biología, la psicología o la lingüística,¹¹ logrando objetivar su práctica y pedagogía.

¿En qué se basa la complejidad de un sistema?

El término *sistema* no es nuevo; su origen puede rastrearse desde la *Critica a la razón pura*, de Immanuel Kant, para quien el mundo se puebla de sistemas interactuando constantemente, y para quien la *arquitectónica* es el arte de construir sistemas.¹² Sin embargo, es preciso reconocer que la significación conceptual del término se ha transformado durante el siglo XX como resultado de la comprensión de cómo realmente éstos funcionan y se producen fenómenos humanos o naturales de singular complejidad. Una definición inicial que nos ayude a comprender esta transformación epistemológica y filosófica describe al sistema como un “conjunto de elementos que relacionados entre sí contribuyen a determinado objetivo”,¹³ siendo entonces el *sistema* una situación multivariable cualquiera que se pre-

10 Teoría que promueve la percepción científica de la realidad y todas sus variaciones posibles por medio de la sistematización y determinación de grados de relación entre las partes.

11 Montaner, *Sistemas arquitectónicos contemporáneos*.

12 Montaner, óp. cit., 10.

13 *Diccionario de la Lengua Española [online]*, “Sistema”. Disponible en <http://www.rae.es/>, recuperado: mayo de 2010.

senta en el universo y que persigue un objetivo equifinal particular.

Las primeras aplicaciones del término *sistema* repercutieron en la generación de métodos científicos de análisis que permiten entenderlos mediante el empleo de instrumentos y metodologías predefinidas que posibilitan deducir conclusiones confiables. De esta manera, el método científico *tradicional* aborda la comprensión de sistemas o problemas presentados desde su segmentación para la aplicación de métodos de análisis particulares, tratando de entender un fenómeno global desde la simple segregación y posterior adición de todas las partes. Podríamos decir que esta dinámica es similar a como se entiende, diseña y construye un edificio contemporáneo en nuestro contexto local; la adición lineal de sistemas y componentes estructurales, mecánicos, de cerramiento y de acabados.

Sin embargo, en la realidad las experiencias y el flujo del conocimiento mismo no se rigen desde esta lógica lineal, sino desde la lógica de las relaciones y de las complejas interdependencias. Por esta razón, la aplicación inicial del término sistema fue reevaluado en 1968 cuando el biólogo Ludwig von Bertalanffy reconoció la existencia de sistemas dinámicos que no podían ser entendidos desde la aplicación del método científico tradicional. Bertalanffy descubrió que lo que realmente importa para entender estos sistemas aparentemente caóticos en su funcionamiento no son solamente los componentes específicos, sino las relaciones variables y complejas que se trazan a través de ellos, donde cualquier variación implica la transformación *global* del sistema general y su desempeño final,¹⁴ determinando la imposibilidad de entender cada parte como un segmento independiente.

De esta manera, una diferenciación semántica de los adjetivos relativos al término sistema debe ser aclarada:

- **Sistemático:** el análisis sistemático intenta comprender un problema desde la comprensión de sus partes aisladas, que posteriormente sumadas, revelan el funcionamiento de un todo.
- **Sistémico:** el análisis sistémico comprende un problema complejo desde el entendimiento de los componentes particulares y los patrones relacionales entre ellos.

Así, durante los años sesenta y setenta algunos métodos y teorías aplicados empezaron a desarrollarse en concordancia con la transformación filosófica de acercamiento a los sistemas. En este sentido, Montaner menciona la teoría psicológica de la Gestalt, el pensamiento complejo de Edgar Morín y las relaciones rizomáticas de Deleuze y Guattari.¹⁵ Sin embargo, es preciso mencionar además los modelos matemáticos y económicos de análisis no lineales y la teoría del caos, entre otros muchos intentos certeros de entender las relaciones entre componentes físicos o abstractos. Estos métodos, pertenecientes a otras disciplinas, logran finalmente entender la realidad de las actividades humanas¹⁶ y el universo en general, de orden aparentemente caótico, que no podía lograrse desde el método científico tradicional. De esta manera, se permite la manipulación consciente de dichos sistemas desde la transformación de patrones de relaciones, para su mejoramiento y optimización en relación con los objetivos iniciales del sistema.

Por esta razón las investigaciones y teorizaciones alrededor de la arquitectura y demás situaciones complejas tienen el propósito de seguir construyendo interpretaciones para concebir el entendimiento sistémico, mas no sistemático, de las relaciones y los componentes en un proceso de diseño y construcción como un sistema/problema complejo. Estas nuevas aproximaciones sistémicas teóricas son apropiadas para “apuntar a una síntesis contemporánea que sepa conciliar el poder de la crítica ideológica, y oponerse al reduccionismo mecánico”.¹⁷

14 Katz y Kahn, óp. cit., 100.

15 Montaner, óp. cit., 10.

16 Clothier, “Non linearity and Integrated Systems”, 49.

17 Montaner, óp. cit., 11.

Por lo tanto la arquitectura debe ser vista como un sistema o problema complejo que demanda su entendimiento y racionalización desde bases conceptuales.

Sólo algunos autores han conducido investigaciones concibiendo la arquitectura como sistema: las teorías de Vitruvio y Semper no consideraban variables comprobables y funcionales aplicables para edificaciones contemporáneas, por lo que sus acercamientos de carácter sistemático no eran diacrónicos. Sin embargo, recientemente algunos autores y educadores como Albert Casals, Josep María Montaner y Richard Rush se han interesado en entender y metodizar la arquitectura desde nociones de complejidad que logren superar problemáticas detectadas generadas por el indeterminismo conceptual de la disciplina; la fijación de diseño¹⁸ en formas y el absurdismo¹⁹ en la resolución de problemas básicos de la arquitectura, entre otros.

¿Cómo entender la complejidad de la arquitectura?

Los sistemas complejos, como todos aquellos problemas aparentemente caóticos, pueden ser comprendidos desde la investigación denominada *operativa* (IO), que es aquella que intenta comprender cómo funciona un fenómeno particular. A grandes rasgos, una (IO) es “la aplicación, por grupos interdisciplinarios, del método científico a problemas complejos producidos en la dirección, gestión y optimización de grandes sistemas; sociedades, economía, ecología, máquinas, etcétera”.²⁰

La principal característica de la IO consiste en construir un modelo científico del sistema del cual se puedan predecir y comparar los resultados de diversas estrategias y decisiones, incorporando medidas del azar, del riesgo y la voluntad humana. Es preciso anotar que este tipo de investigaciones no pretenden la verdad absoluta; por el contrario, su función esencial es puramente descriptiva, permitiendo el entendimiento de los sistemas complejos

desde su fenomenología particular. En este orden de ideas, un grupo de IO es aquel que se encarga del entendimiento de sistemas complejos presentes en el mundo. Bajo ese enfoque, podríamos hacernos a la idea del arquitecto como investigador operativo, encargado del análisis, estudio y evolución de la arquitectura como un sistema complejo que integra áreas de diferentes disciplinas en el proceso.

En este sentido Pedro Linares y Andrés Ramos establecen tres requerimientos básicos de una IO como aquella que persigue la comprensión y optimización de funciones de un sistema complejo, entendiendo el término *optimización* como la selección de la mejor alternativa posible en el desempeño de objetivos básicos. Estos requerimientos son:²¹

- *Función objetivo*: la medida (cuantitativa o cualitativa) del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar o minimizar). Como ejemplos de funciones objetivo se pueden mencionar: la minimización de los costos de operación de un sistema eléctrico, la maximización de beneficios netos de venta de ciertos productos, entre otros.
- *Variables*: representan los componentes y decisiones que pueden afectar el valor de la función objetivo. Desde un punto de vista funcional se clasifican en *variables independientes o principales*, *variables de control* y *variables dependientes* o secundarias.
- *Restricciones*: representan el conjunto de relaciones que ciertas variables están obligadas a satisfacer.

Esta categorización básica responde a la concreción del marco del problema general de un sistema complejo que, de ser desarrollado en relación con cada sistema específico, permite la concreción de un *sistema arquetípico*²² aplicable a cualquier variación de un mismo fenómeno. Este flujo causal básico puede leerse como tres etapas diferenciales de un *sistema de proceso*²³ (proceso y resultado, o diseño y edifica-

18 Heylighen, *In Case of Architectural Design* 137-139.

19 Silber, *How Genius Disfigured a Practical Art*, 33-34.

20 Linares y Ramos, “Modelos matemáticos de optimización”, 3.

Disponible en: <http://www.gams.com/docs/contributed/>.

21 Ibídem, 4-6.

22 Un sistema arquetípico es el flujo general de variables de un sistema complejo, aplicable a todas sus variaciones posibles.

Kruschwitz, “Pensar en sistemas”, 274.

23 Katz y Kahn, óp. cit., 100.

ción). La primera corresponde a los objetivos como única medida del desempeño final del sistema, seguido por las variables físicas y conceptuales medidas por las posibilidades de relación entre ellas, y una tercera etapa de un resultado como sistema funcional.

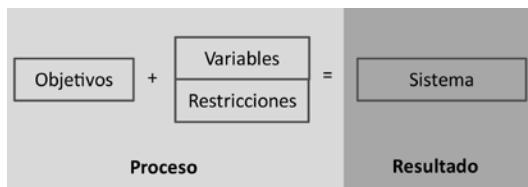


Figura 1. Proceso de generación de un sistema construido desde modelos de IO de sistemas complejos.

Igualmente, el documento explicativo *modelos matemáticos de optimización de procesos*, de Linares, contiene algunos problemas que alteran el esquema, dentro de los cuales cabe destacar el relacionado con la *optimización multiobjetivo*,²⁴ donde existe más de una función objetivo o necesidades a resolver, como en el caso de la arquitectura. El problema central que plantea una ecuación *multiobjetivo* tiene que ver con cómo tratar varias funciones objetivo a la vez, teniendo en cuenta que lo óptimo para un objetivo no lo es para otros, generándose conflictos entre ellos que deben ser solventados por el investigador. Un claro ejemplo de este problema es la concepción de formas pasivas de ventilación en edificaciones localizadas en climas fríos o templados, lo cual determina un detrimento en los niveles de confort térmico de los usuarios producto de corrientes frías de aire, por lo que es preciso encontrar un balance efectivo.

Las funciones multiobjetivo de la arquitectura: parámetros de comprobación

Tras la búsqueda de un determinismo conceptual y teórico debemos reconocer que en la arquitectura, desde su función social y ambiental, las *funciones objetivo* (FO) responden a "sujetos" que encuentran

en una edificación la oportunidad de satisfacer sus necesidades. Estos *sujetos*, como los hemos llamado, hallan en la normativa, en los estándares o en los sistemas de certificación, un discurso institucionalizado en defensa de sus intereses. De manera general, los estándares son desarrollados cuando existe una necesidad pública significativa;²⁵ por ejemplo, la norma sismorresistente (NSR 10) cita en su introducción el objetivo esencial de la defensa de las vidas humanas: "Las normas sismorresistentes presentan requisitos *mínimos* que, en alguna medida, garantizan que se cumpla el fin primordial de salvaguardar las vidas humanas ante la ocurrencia de un sismo fuerte".²⁶

Igualmente, el Código de Construcción de Bogotá pretende la protección del bienestar de los usuarios, dando directrices para la garantía del correcto funcionamiento de las edificaciones:²⁷ "El Código de Construcción establece las normas básicas de dicha actividad en tal forma que se proteja la seguridad, la salubridad y el bienestar de la comunidad".²⁸

Sin embargo, éstas no son todas las funciones que podríamos y deberíamos nombrar. El aumento en la cantidad de variables determinantes, principales o independientes según el modelo de optimización, se ve relacionado con la complejización y evolución de la sociedad y sus relaciones físicas con el medio. Una aldea primigenia de *tipis* no demanda mayores funciones de ciudad y comunidad. No obstante, aquella misma aldea, convertida en una gran urbe, demanda la normatización, planeamiento y estructuración de complejos sistemas en función del bienestar común, evidencia la necesidad de medidas de sincronización de los sistemas constructivos con los naturales, por medio de parámetros de arquitectura sostenible, haciéndose necesaria una calibración entre las intenciones de diseño con los resultados ecológicos que estas demandan. De esta manera, El impacto ambiental negativo que la industria de la construcción ha generado en términos de producción de CO₂, consumo energético y recursos natu-

24 Linares y Ramos, óp. cit., 6.

25 Office for Official Publications of the European Communities, "Where are European standards developed?". Disponible en: www.publications.europa.eu, recuperado: diciembre de 2009.

26 Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, *Normas colombianas de diseño y construcción Sismorresistente*, 2.

27 Concejo Distrital de Bogotá, Acuerdo 20 de 1995, "Mediante el cual se adopta el Código de Construcción del Distrito Capital y se fijan sus políticas generales y su alcance y mecanismos de aplicación".

28 Concejo Distrital de Bogotá, Acuerdo 20 de 1995, Código de Construcción para Santa Fe de Bogotá, p. 1.

rales se puede minimizar sin impedir el desarrollo y crecimiento de la civilización (Tanzer & Longoria, 2007), sabiendo que tradicionalmente la tecnología y la intervención humana han sido totalmente independientes de los asuntos de la naturaleza, y que por esta razón, se deben ajustar los sistemas artificiales para que sean compatibles con los naturales (Yeang, 2009) e incluir al ambiente como un nuevo sujeto demandante de resolución de necesidades globales.

Por eso los diferentes códigos de construcción y los sistemas de certificación de arquitectura sostenible promueven la defensa del medio ambiente, de las comunidades y de los usuarios particulares. Y ante la creciente necesidad de cuantificación y normalización de construcciones ecológicas han surgido iniciativas internacionales. El *US Green Building Council* Consejo de edificios verdes de Estados Unidos ha desarrollado el *Leadership on Energy and Environmental Design* la dirección en energía y diseño ambiental (LEED) como un sistema de medición y certificación de la construcción sostenible que, por medio de créditos o puntos en categorías específicas (lugar, uso eficiente de los recursos agua y energía, atmósfera, materiales y recursos, calidad ambiental interior e innovaciones alrededor de estos temas) permite la cuantificación de proyectos existentes y nuevos sometidos a procesos de actualización. Así mismo, han surgido iniciativas como el *Breeam* en el Reino Unido, el LEED México, el LEED Brasil, el LEED Canadá, el Nabers (sistema australiano de clasificación de ambientes construidos) y el procedimiento de alta calidad medioambiental ACM en Europa, entre otros tantos que hacen evidente la función objetivo ambiente.

Podemos dividir la función objetivo en cuatro subfunciones particulares del proyecto arquitectónico:

- La función objetivo usuario.
- La función objetivo comunidad.
- La función objetivo ambiente.
- La función objetivo cliente.

La función objetivo *usuario*, que comprende todas aquellas necesidades determinantes de la pertinencia de un edificio, está compilada en tres tipos básicos de normativa particular, para nuestro contexto, Bogotá:

- Código de Construcción, Norma Distrital (municipal).
- Código Sismorresistente, Norma Nacional.
- Normas y sistemas de certificación de la calidad de los materiales.

Estas tres normativas apuntan a objetivos diferentes: 1) el Código de Construcción determina los requisitos particulares del diseño arquitectónico y de construcción que permitan asegurar el bienestar lumínico, higrotérmico, visual y acústico del usuario, así como la satisfacción de necesidades funcionales de circulación, permanencia y funcionamiento mecánico de las redes de servicios. En términos generales, el código busca garantizar la comodidad y la salud del usuario desde el funcionamiento mismo del edificio, acorde a sus requerimientos mínimos. Aunque el Código de Construcción habla también de requisitos estructurales de las edificaciones, su contenido, la norma sismorresistente (NSR-10), la cual normatiza criterios para garantizar la integridad física de la edificación y por ende de sus usuarios. Por último, las normas y sistemas de certificación de calidad de los materiales, como los estándares Icontec y ASTM, entre otros, buscan el cumplimiento y certificación de requisitos mínimos de las propiedades físicas de los materiales sobre los que reposan el diseño arquitectónico y la construcción.

De igual forma, el objetivo función comunidad (ciudad) se encuentra amparado en un documento normativo territorial, siendo preciso comprender la directa correlación entre territorio y desarrollo y su sincronización en la concreción y construcción de un modelo de ciudad que necesariamente incluye mecanismos de orden económico y social que buscan por medio del planeamiento el adecuado desarrollo geoeconómico de las sociedades:

- Plan de Ordenamiento Territorial o Plan General de Ordenamiento, Norma Distrital (Municipal).
- Plan Nacional de Desarrollo.
- Plan de Desarrollo Económico, Social y de Obras Públicas Norma Distrital (Municipal).

Estos ítems determinan la función y el lugar del proyecto arquitectónico, colaborando en la concreción del modelo de ciudad-región propuesto en el ordenamiento de nuestra ciudad en beneficio de la construcción de una sociedad justa y equitativa; acceso

a equipamientos particulares en lugares identificados como oportunos; densidades apropiadas de vivienda en zonas residenciales; óptima localización de parques, etcétera.

Por otro lado, en nuestro país la función ambiente no se encuentra regulada, ni existen sistemas de certificación de edificios "verdes", presentándose un gran vacío en la defensa del medio ambiente y el bienestar de la humanidad y el planeta en general. Sin embargo, hay iniciativas, como la de la Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá, que buscan reformular el Código de Construcción vigente para la consecución de un código que contenga temas de sostenibilidad interrelacionados con un estándar de construcción sostenible para la capital, donde se condensarían las necesidades (función objetivo) de los usuarios y el ambiente, reconociendo la íntima correlación e interdependencia de las funciones.

Finalmente, la FO cliente tampoco se encuentra determinada en códigos, normas, acuerdos o sistemas que certifiquen la medición del grado de satisfacción y materialización de los deseos conceptuales del cliente, comprendidas como necesidades a las que el arquitecto debe apegarse en una conversación y relación retributiva de ideas, discusiones y modificaciones. Por esta razón, y ante la insuficiencia de conocimientos técnicos y conceptuales del cliente, se crean figuras/actores del proceso constructivo y de diseño tales como la interventoría o los consultores particulares del cliente. Sin embargo, es posible considerar tres factores derivados de la función cliente como objetivos/necesidades a los que es necesario ajustarse en miras de lograr la satisfacción de éste:

- Programa arquitectónico.
- Presupuesto económico.
- Búsquedas particulares del cliente (gustos e ideales)

Estos son, entonces, los estándares mínimos que permiten establecer racionalmente los objetivos particulares de la arquitectura y la construcción. Sin embargo, no podemos decir que al cumplirlos (cosa que en cualquier edificio se hace automáticamente

en tanto los sistemas constructivos son necesariamente coordinados en obra) se establezca una *investigación operativa*, porque es sólo hasta después de cumplir los requisitos mínimos de la construcción que nace la arquitectura (Venturi, 1997), es decir, sólo hasta que se establece un juicio crítico en términos de la optimización del modelo y no desde su simple resolución tipificada, es preciso hablar de optimización e innovación operativa.

En esta dirección se formuló una matriz simplificada (fig. 2) que permite relacionar transversal y verticalmente necesidades básicas agrupadas en factores ambientales, funcionales, culturales y económicos, con criterios físicos observables de cada edificación o diseño particular; criterios visuales, térmicos, acústicos, calidad del aire y espaciales. Este método simplificado permite ubicar dentro del cuadro las intenciones arquitectónicas desde el diseño como respuesta a objetivos particulares, y evaluar su relación con la respuesta a las demás necesidades.

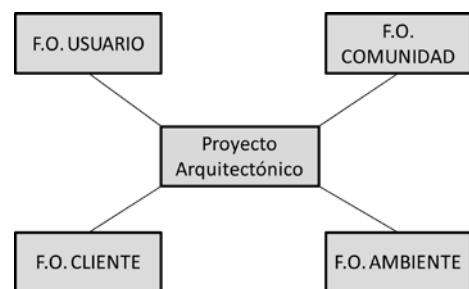


Figura 2. Funciones objetivo del proyecto arquitectónico.

Variables independientes como generadoras del proyecto arquitectónico

Albert Casals clasifica las *condicionantes* de la arquitectura en tres grandes grupos; el lugar, la función y el tipo.²⁹ No obstante, dentro de esta clasificación de condiciones, en adelante variables independientes o principales, el tipo, o el conocimiento tipificado, es al unísono un método de adquisición de conocimientos y conocimiento conceptual y técnico por sí mismo.³⁰ Este conocimiento tipificado debe pertenecer al repertorio cognitivo del arquitecto, con

29 Casals, Albert, Seminario "Pedagogía y didáctica en Arquitectura", Bogotá, Universidad de los Andes, 2010.

30 Heylighen, óp. cit., 14-30.

Necesidades. Criterios de desempeño	Culturales	Funcionales	Económica	Ambientales
Visual	Empleo materiales propios del lugar, morfología y ocupación	Niveles de iluminación interior y exterior adecuada	Conservación de tiempo y dinero	Conservación energía y recursos naturales. Conservación espacial
Térmico		Temperatura interior adecuada	Conservación de tiempo y dinero	Conservación de energía y recursos naturales
Acústico		Calidad del sonido, privacidad	Conservación del tiempo y dinero	Control contaminación auditiva
Calidad del aire		Ventilación, control de la polución	Conservación de dinero	Conservación de energía, recursos naturales
Espacial		Proporciones, organización espacial eficiente	Conservación espacial, tiempo y dinero	Conservación energía, recursos naturales
Integridad de la edificación	Procesos constructivos y procesos de transformación de materiales propios	Estabilidad, durabilidad. Estanqueidad. Seguridad ante incendios. Servicios hidráulicos y mecánicos	Conservación de tiempo y dinero	Conservación energía, recursos naturales
	Factores sociales		Factores económicos	Factores medioambientales
	Arquitectura sostenible			

Figura 3. Resumen de criterios de evaluación y funciones objetivo condensadas en cuatro conceptos generales. Se presenta como una síntesis a todas las necesidades y conforman así mismo un método de apoyo a la evaluación de proyectos.

miras a configurar espacialmente sus proyectos de manera rápida. Pero el lugar y la función, entendida esta última como el uso específico y su capacidad de adaptabilidad en el tiempo,³¹ sí son y deben ser condiciones iniciales o *inputs* independientes de cualquier proyecto arquitectónico. El lugar ha de ser considerado como el conjunto de condiciones particulares referentes al emplazamiento de cada proyecto arquitectónico. Estas variables independientes pueden y deben segmentarse metódicamente en subvariables independientes particulares para su comprensión.

Así, y apegándonos a la definición de lugar desde su origen, del latín *logar*; un lugar es *un tiempo, una ocasión y una oportunidad*.³² En la definición de uso común, la Real Academia define el término lugar como “principio general de que se saca la prueba para el argumento en un discurso”.³³ De esta manera, un lugar es un tiempo, una ocasión y una oportunidad que dan origen a un argumento que valida el discurso de la arquitectura. Deductivamente, un lugar hace referencia a cuatro variables independientes que determinan y argumentan la pertinencia física y conceptual de un proyecto arquitectónico:

31 Casals, Albert, Seminario “Pedagogía y didáctica”, óp. cit.

32 *Diccionario de la Lengua Española* [online], disponible en: <http://www.rae.es/>, recuperado: mayo de 2010).

33 Ídem.

- La determinante *clima*: que alude a las condiciones ambientales del lugar de emplazamiento, establecida por la posición geográfica del artefacto arquitectónico a proyectar, que varía incluso dentro de una misma ciudad dependiendo de las características del sitio a intervenir: viento, sol, lluvia, temperatura, humedad, nivel freático, etcétera.
- La determinante *industrial*: disponibilidad local de materiales, procesos constructivos y mano de obra especializada.
- La determinante *solar*: proporciones del lugar a intervenir y condiciones geométricas del emplazamiento. Se relaciona directamente con los tipos arquitectónicos y las dinámicas urbanas y económicas de consolidación de ciudad). Dentro de la determinante solar encontramos, igualmente, una topografía particular.
- La determinante *ciudad*: las relaciones sistemáticas existentes entre ciudad y edificio, o urbanismo y arquitectura; la articulación con los sistemas estructurantes de la ciudad; accesos vehiculares, peatonales; relaciones inmediatas, la edificabilidad, retrocesos y aislamientos, etcétera.

La variable independiente función

La variable independiente función se refiere a tres conceptos puntuales: 1) la pertinencia de las edificaciones en términos de su desempeño espacial y flexible en el período para el que se proyecten,³⁴ 2) las consideraciones de durabilidad en cuanto a la vida útil de la edificación proyectada,³⁵ y 3) el uso, comprendido como la forma general o tipología funcional de sistemas espaciales que se proponen como condiciones particulares e iniciales a cada utilización edificatoria.

Esta idea de distinción entre funciones y criterios se basa en la evidente variabilidad de conceptos y determinantes en el hecho construido y las partes que lo componen. Por ejemplo, una vivienda unifamiliar no necesita del mismo grado de flexibilidad que una edificación de oficinas, dado que esta última debería permitir la modificación de este uso a diferentes funciones en el tiempo. Por esta razón, la variable función debe ser comprendida desde tres criterios generales en relación con los usos (fig. 4):

- *Flexibilidad*. Se la interpreta como la *susceptibilidad a cambios o variaciones según las circunstancias o necesidades*³⁶ y se encuentra dada en función de la configuración del sistema estructural, los sistemas de cerramiento fácilmente removibles, los sistemas mecánicos que permitan la adecuación de nuevos puntos o inserción de nuevas redes de servicio según se requieran, así como los acabados, que permitan su fácil actualización a través del tiempo. Para esto, se necesitan tipos de relaciones entre componentes que faciliten la variabilidad de partes sin afectar el todo (Rush, 1991), es decir, la flexibilidad está en función de la forma de integrar componentes y sistemas en una edificación.
- *Durabilidad*. El concepto de durabilidad se relaciona con la esperanza de vida útil de las edificaciones al servicio de los usuarios. No se puede dejar de analizar el costo de durabilidad, ya que se puede asociar a un concepto de ahorro a largo plazo, dado que se relaciona con la combinación de todos los componentes que nos permita satisfacer las condiciones de servicio durante la vida útil de la estructura.³⁷ De esta manera, la durabilidad está en función del

Criterios de Función / Usos edificables.	Temporales	Vivienda Unifamiliar	Vivienda en altura	Superficies Comerciales	Comercio Vecinal	Oficinas	Equipamientos
Flexibilidad		✗	✗ ✗	✗ ✗ ✗	✗ ✗	✗ ✗ ✗	✗ ✗ ✗
Durabilidad	✗	✗ ✗	✗ ✗ ✗	✗ ✗	✗ ✗	✗ ✗ ✗	✗ ✗ ✗

Figura 4. Criterios determinantes de la función en la arquitectura con relación a usos particulares.

34 Rush, *The Building System Integration Handbook*, 237-240.

35 *Idem*.

36 *Diccionario de la Lengua Española [online]*, "Flexibilidad", disponible en: <http://www.rae.es/>, recuperado: junio de 2010.

37 Vuotto, "Durabilidad del hormigón estructural", en: <http://www.cai.org.ar/>.

conjunto de componentes de la arquitectura y la construcción, los cuales demandan ciertos tipos de relaciones unificadas que permitan un fácil mantenimiento y evitar mecanismos complejos que tiendan a fallar periódicamente. Si la vida útil que se espera de una edificación es baja, los tipos de relaciones deben ser más complejas y fácilmente removibles, facultando su fácil montaje y desmonte.

- *Forma funcional* (o tipología formal): pertinencia del esquema formal entendido como la organización tipológica de los espacios interiores con relación al exterior. La pertinencia de la forma funcional de una tipología de edificio de galería no corresponde a usos como el de una iglesia, que demanda ciertos tipos de organizaciones formales y tipológicas: concéntricas, de nave, entre otros. Si comparamos iglesias góticas con iglesias clásicas, observaremos una forma funcional similar a pesar del diacronismo de las obras. La forma es independiente de los sistemas arquitectónicos que más adelante se proponen, y determinan la pertinencia de relaciones climatológicas y ambientales de iluminación natural, ventilación, visuales, entre otras.

Las variables de control. Los mecanismos de diseño

Las variables de control se refieren al dominio ejercido sobre variables dependientes e independientes que son duplicadas para observar el efecto de la variación de éstas, y para su comprensión. En otras palabras, son métodos que permiten confiar en la lógica experimental para concluir inferencias causales.³⁸

De manera general, podríamos decir que las variables de control son todas aquellas experimentaciones que permiten predecir el efecto de una decisión sobre el objeto estudiado. De esta manera, existe correspondencia en la arquitectura desde el procedimiento de diseño y construcción de una edificación con el tipo de controles a los que aquí nos referimos. Si se busca controlar la variable estructura se procede a la consecución de modelos, pruebas y cálculos de dimensionamiento, o pruebas de concreto, siendo la variable más normatizada en la industria de la

construcción por su impacto en la seguridad de la vida del usuario, y dado que “la estructura y el proyecto tradicionalmente se han presentando como un ideal de unidad conceptual del proyecto arquitectónico inherente a la *buena arquitectura*”.³⁹ Sin embargo, existen otros tipos de pruebas de variables de control que encuentran *mecanismos*⁴⁰ diferentes para tal fin. Si se busca controlar el efecto de cierto tipo de cerramientos en una forma funcional propuesta, se recurre dentro del proceso de diseño a la comprobación de las decisiones técnicas con varios mecanismos: pruebas de Heliodón para el control de la incidencia solar directa, pruebas lumínicas de medición para niveles adecuados en cada uso o función, entre otros.

Existen también aquellos controles que ya han sido tipificados en tablas, como por ejemplo, el coeficiente de transmisión térmica de los materiales del cerramiento de fachada, entre varios. Igualmente, podríamos decir que la elaboración misma de modelos o maquetas de cualquier escala y los dibujos planimétricos permiten controlar las variables del proyecto. En general, los mecanismos de diseño deben ser entendidos como el control de variables tanto principales como secundarias, que establecerán el entendimiento del lugar y el funcionamiento integral de la edificación proyectada con relación a sus funciones objetivo.

Las variables dependientes o secundarias

*Design is not making Beauty; Beauty emerges from selection, affinities, integration and love...
Beauty will evolve. El Diseño no es hacer cosas bellas; la belleza emerge de la selección, afinidades, integración y el amor... la belleza emergerá.*
Louis Kahn⁴¹

Una variable dependiente se define como aquella característica que se trata de modificar mediante la manipulación de las variables independientes del sistema. En las variables dependientes, o consecutivas de la ecuación final, sus valores dependen de los que adquieran las principales, es decir, el lugar y la función, mediados por el control (mecanismos de

38 Bennett, “Lost in the Translation”, en: <http://www.ciaonet.org/wps/bea01>.

39 Sória, “El proyecto arquitectónico y las estructuras”, 6-8.

40 Casals, Albert, Seminario “Pedagogía y didáctica”, óp. cit.

41 Kahn, “Order Is”, 58-59.

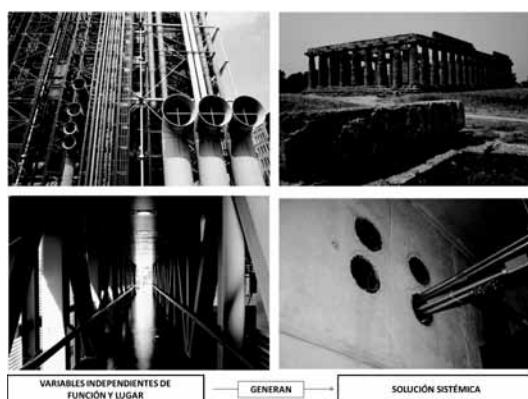
diseño para su entendimiento como maquetas y planos de análisis durante el proceso de optimización. La innovación sistémica, o *relacional*⁴² de componentes y de variables se presenta en el nivel más bajo del sistema general, es decir, en los sistemas arquitectónicos o constructivos, que son finalmente los que varían y determinan el resultado como respuesta a un proceso. En este orden de ideas, y al igual que en el arquetípico ecosistema y otros sistemas complejos, lo que importa son las relaciones más que los componentes, que al relacionarse (integrarse) definen el equilibrio y funcionamiento del todo, por lo que no existe una forma única de hacerlo dado que no existen dos lugares ni situaciones iguales. Por esto es posible decir que, al igual que un sistema complejo varía dependiendo del medio en el que se inscriba, la arquitectura es un sistema con infinitas ecuaciones que dependen directamente de valores de lugar y función.

A continuación se abordan algunos ejemplos donde es perceptible una variación sistémica en la resolución técnica de relaciones de componentes físicos de una edificación, concebidos con relación a variables determinantes de lugar o función, donde las características constructivas son respuesta directa a valores cambiantes que estas variables de mayor escala adquieren.

El Centro George Pompidou

Estas relaciones variables entre componentes físicos de una edificación pueden presentarse de infinitas formas, como por ejemplo, la concepción estética de las redes mecánicas presentes en el Centro George Pompidou, o Museo Nacional de Arte Moderno de París, diseñado en 1977 por Renzo Piano y Richard Rogers. Este edificio cuenta con relaciones innovadoras y sin precedentes para su época, donde se le otorgan valores estéticos a las redes mecánicas expuestas y entrelazadas en la estructura (fig. 5).

En este punto es preciso mencionar que su resolución técnica y constructiva no es caprichosa, sino totalmente consecuente con una IO de soluciones adecuadas para el sistema propuesto. Al ser una instalación cultural que exige flexibilidad funcional, la solución de una exoestructura capaz de asumir en el tiempo integraciones entrelazadas de redes mecánicas cambiantes, es una solución oportuna, al mismo tiempo que logra resolver exigencias de velocidad constructiva, para lo que la refinada estructura en acero y cerramientos modulares es una respuesta consecuente con el entorno, el lugar y la función, donde la forma arquitectónica y la solución técnica han sido desde los setenta una panacea que se valida desde la lógica de la solución.



Figuras 5-8. Ejemplos de integración de sistemas en diferentes casos de la arquitectura, en respuesta a variables diferenciales de función y lugar.

El templo de Hera

Otro claro ejemplo que apela a la comprobación del diacronismo de la variación sistémica y de sus relaciones es el Templo de Hera, en Grecia (525 d. C.), donde la misma estructura de columnatas repetitivas conforma el cerramiento exterior y los muros portantes interiores antiguamente existentes conforman el espacio sagrado central. En ambos casos la estructura es el cerramiento de la edificación a la vez (fig. 6).

El resultado formal de las variables independientes de la edificación es (al igual que el Centro Pompidou) el rizoma de los valores de las variables de mayor amplitud de lugar (contexto de la antigua

42 Slaughter, "Models of construction innovation", 226-231, en: cedb. asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?9802310.

Grecia) y función (templo sagrado). El lugar particular ofrece posibilidades constructivas basadas en la construcción en piedra que determinan un tipo de estructura particular de columnatas repetitivas con dinteles de poca longitud y muros portantes. Paralelamente, la función de templo sagrado dedicado a la diosa griega de los nacimientos, define su configuración espacial, en la que los espacios centrales confinados entre muros portantes en piedra se cierran al público y sólo sacerdotes y deidades pueden acceder, mientras que las galerías perimetrales, conformadas por columnatas, se establecen como lugares públicos.

El Polideportivo de la Universidad de los Andes

Como casos contemporáneos en un ámbito local donde son perceptibles rasgos de integración sistémica innovadoras desde el diseño, puede presentarse el caso del Edificio Polideportivo de la Universidad de los Andes, en Bogotá (2009), en el que la estructura de cerchas que sostiene la piscina elevada es habitable, es decir, está expuesta en forma de acabado final de la edificación y conformando cerramientos de circulaciones, estableciéndose la relación integracionista entre la estructura, los cerramientos y los acabados (fig. 7).

El Polideportivo de la Universidad de los Andes, del arquitecto Felipe González-Pacheco, se emplaza en un lugar de altas pendientes donde se configura un esquema estructural de cerchas tridimensionales del cual cuelga la piscina del edificio. Por lo tanto, y ante la posibilidad industrial y tecnológica de consecución de estructuras horizontales en acero en el medio local, ésta es la respuesta más eficiente considerada por el proyectista para dar solución a la ubicación superior de la piscina, en tanto que la descomposición en vectores de tracción y comprensión puros frente a elementos a flexión, logra ahorrar cantidades de material y tiempo de ejecución. Asimismo, gracias a la configuración formal y estructural del elemento, se posibilita generar circulaciones internas.

Edificio Mario Laserna, de la Universidad de los Andes en Bogotá

Por último, caben rescatar, como ejemplo ilustrativo, las integraciones espaciales de pasos coordinados entre estructura y redes mecánicas presentes en el Edificio Mario Laserna, de La Universidad de los Andes (fig. 6), diseñado por Javier Vera, Marco Aurelio Montes, Óscar Mesa y Gabriel Jaime Giraldo, que, pese a ser relaciones tradicionales en nuestro medio contemporáneo, se diferencian de formas diferenciales de integrar componentes, como puede ser el colgar redes de un entresuelo. En esta simple estrategia de coordinar pasos entre la estructura horizontal (fig. 8) se logra la conservación espacial y de material, mayores alturas y menor cantidad de material al permitir edificaciones más bajas donde la estructura y las redes no compiten por el espacio útil.

Este edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes es una estructura de altas densidades en el programa arquitectónico exigido que durante la etapa de concurso se definía de forma general como un edificio en altura. Sin embargo, después del concurso, y al aplicar la normativa específica al proyecto ganador, la reducción de altura se hizo necesaria, y por ende estrategias de integración espacial de redes y estructura fueron demandadas para lograr mayor conservación espacial. La solución de integración típica de pasos coordinados por dentro del sistema horizontal de entresuelo es necesaria para lograr dar respuesta a funciones objetivo del programa arquitectónico, siendo consecuente con el sistema general.

A manera de síntesis preliminar, la arquitectura sistémica no pretende innovar en cuanto a la invención de elementos, sino que parte del concepto de innovación por valores agregados que surge de la interacción de los mismos elementos existentes, reconociendo el no existir respuestas únicas, sino que la *memoria dinámica*⁴³ y el proceso retributivo de conocimiento continuo a través de un proyecto que integra (transversalmente) disciplinas comple-

43 La memoria dinámica concibe el conocimiento como un proceso de adaptación y explicación de nuevos fenómenos partiendo de hechos conocidos; en otras palabras, el nuevo conocimiento se adquiere modificando o complementando una explicación existente. Heylighen, óp. cit., 45-47.

mentarias del proceso de diseño⁴⁴ se encargan de moldear las partes edificadas, que son finalmente las que cambian de valor hacia las relaciones más óptimas, en correspondencia con los valores de las variables más amplias, objetivos y determinantes.

Los sistemas arquitectónicos como variables dependientes

Estructura (E)	Cimentación
Mecánico (M)	Estructura vertical
	Estructura horizontal
	Hidráulico suministro
	Hidráulico incendios
	Desagüe aguas negras
	Desagüe aguas grises
	Desagüe / tratamiento aguas lluvias
	Suministro eléctrico
	Ventilación
	Calefacción y refrigeración
	Voz y datos
	Transporte vertical
	Evacuación residuos sólidos
	Acondicionamiento acústico
	Suministro gas
	Sonido
Cerramiento (C)	Fachada
	Interior
	Cubierta
	Contrapiso
Habitable (H)	Constitutivos a la vista
	Recubrimientos
	Revestimientos
	Amoblamiento fijo

Figura 9. Los sistemas dependientes de la arquitectura como sistema general, y sus subsistemas particulares

De esta manera, existen en cualquier tipo de edificación grupos de elementos con funciones generales diferenciales. Algunos de ellos garantizan el

equilibrio de una edificación, otros subdividen los espacios y aíslan del exterior, otros más sirven dichos espacios, y finalmente se encuentran los que adecúan un edificio para su habitabilidad según las posibilidades técnicas existentes y el conocimiento técnico del proyectista (fig. 10). De esta forma, se propone una clasificación elemental de los sistemas dependientes de la arquitectura, relacionados con la estructura, los cerramientos, las redes o sistemas mecánicos, y los acabados. Estos sistemas han sido retomados de aquellos propuestos por Richard Rush⁴⁵ y del repositorio de objetos de conocimiento de la construcción KOC,⁴⁶ y se constituyen desde su definición funcional básica.

- *Sistema de estructura (E):* es el encargado de transmitir las cargas vivas, muertas y horizontales, desde la cubierta hasta el estrato portante del suelo, y mantener en equilibrio una edificación. Dentro de este sistema se encuentra los subsistemas vertical, horizontal y de cimentaciones.⁴⁷
- *Sistema de cerramiento (C):* es el encargado de la subdivisión funcional interna y de protección de esos espacios contra los agentes ambientales externos, tales como ruido, luz, polución y temperatura. Se refiere básicamente al armado de muros, particiones y demás subsistemas encargados de aislar espacios; la fachada, la cubierta, el cerramiento interior y el cerramiento del contrapiso.

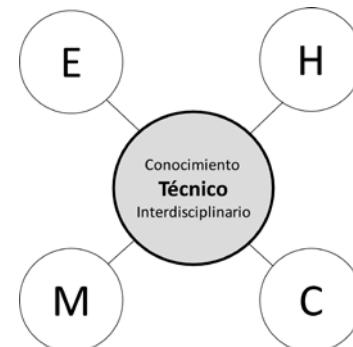


Figura 10. El conocimiento técnico de la arquitectura como conocimiento pertinente para integrar funciones de componentes.

45 Rush, óp. cit., 10.

46 "Knowledge Objects of Construction (in development)", Bogotá, Universidad de los Andes, Departamento de Arquitectura, Disponible en: <http://157.253.201.47:8080/KOC/navegacion/listar.htm>.

47 Lin, *Conceptos y sistemas estructurales* 163, 219, 453.

- *Sistema mecánico (M)*: comprende todos aquellos elementos y redes que prestan servicios a los usuarios de un edificio, así como los encargados del control ambiental activo dentro de las edificaciones. En este sistema general podemos encontrar los subsistemas de suministro eléctrico, hidráulico, desagües, ventilación, calefacción, refrigeración, gas, voz y datos. Además de estos, también existe el subsistema de transporte vertical, donde se encuentran elementos como ductos, escaleras, rampas, montacargas y ascensores, que garantizan el flujo vertical de redes y de personas en la edificación.
- *Sistema habitable (H)*: se refiere a los elementos perceptibles visualmente en el exterior e interior de la edificación, es decir, todos aquellos que hacen parte de la estética visual de cada construcción terminada. Dentro de él encontramos el subsistema superficie, que se refiere a los acabados puntuales adheridos principalmente al sistema estructura y al sistema cerramiento, y el subsistema amoblamiento fijo, que contiene todos aquellos muebles fijos necesarios para el desarrollo de las actividades interiores.

Las restricciones (grados de relación/integración entre sistemas)

La integración de sistemas, así como de subsistemas y elementos propios de éstos, encuentran un sinnúmero de formas de relacionarse o integrarse entre ellos (fig. 11). Estas formas pueden ser descritas como niveles de integración, que van desde integraciones simples sin interfaz, pasando por integraciones con elementos intermedios, que a su vez sueles ser las más comunes, producto de la tradición de disgregación sistémica modernista,⁴⁸ y llegando a integraciones espaciales y totales de las partes.



Figura 11. Tipos de integración (relación) entre componentes independientes.

De manera que el fin último de la integración es la consecución de un sistema sinérgico o unificado de todas las funciones sistémicas, el cual necesariamente debe ser específico para los tipos de funciones. Este sistema sinérgico ha de constituirse como balance óptimo en respuesta a funciones objetivo particulares, según las restricciones (formas de integración) y las variables determinantes de uso y lugar. De la teoría integracionista abordada de Richard Rush se establecen diferencias de relaciones, necesarias para establecer aquellas correspondientes a un proceso gradual de ellas.

- *Integración apoyada*: refiere la relación más simple que puede tener un elemento de un sistema con otro del mismo sistema o un sistema diferencial, es decir, cuando están relacionados entre sí pero no existe un elemento conector entre éstos; un claro ejemplo se observa en ciertos tipos de cubiertas pesadas apoyadas sobre la estructura, en placas de contrapiso con relación al relleno de soporte, etcétera.
- *Integración fija y removible*: aquellas de un segundo orden de especialización hacia la integración total; cuentan con un elemento conector o interfaz intermedio que hace posible la unión entre dos elementos diferenciales. Estas integraciones contienen la totalidad de uniones mecánicas y químicas existentes y por desarrollar, siendo un concepto inclusivo más no exclusivo de las nuevas posibilidades. Algunos ejemplos serían uniones con pernos, puntillas, etcétera.
- *Integración entrelazada*: habla de dos elementos que ocupan el mismo espacio físico para desarrollar su función, venciendo el problema de la competición por el mismo espacio presente en sistemas estructural-mecánico, principalmente. Un ejemplo claro de ello sería un piso técnico donde los subsistemas mecánicos se “tejen” por dentro de la estructura, o la relación de un ducto con los componentes mecánicos. Emplea integraciones apoyadas, fijas o removibles para su consecución.
- *Integración unificada*: es el tipo de integración más avanzada y a la vez más complicada de

48 Montaner, óp. cit.

percibir visualmente debido a que el mismo elemento cumple dos funciones diferenciales (la complejidad es difícilmente aprehendida visualmente). Esta integración es ideal en la integración de sistemas dado que busca la multifuncionalidad de cada elemento, simplificando una edificación, como por ejemplo, una columna-bajante que se funden en un solo elemento.

Las formas de integración (fig. 11) hablan de los grados de complejidad en el armado de una edificación, que a su vez tiene impactos en el consumo de energía y recursos necesarios para lograr el funcionamiento; mientras que una integración con interfaz demanda el diseño, la fabricación y la adecuación de tres elementos para lograr integrar dos, una integración unificada demanda sólo la concepción de un elemento funcional en uno o dos sistemas simultáneamente, significando ahorros sustanciales de consumo de recursos. Aunque sería posible

elaborar una matriz de tipos de integración técnica (elementos apoyados, articulados o empotrados), o de técnicas de fijación (mecánicas, químicas), estas clasificaciones no se referirían al valor sistémico dentro del sistema general arquitectura, sino a requerimientos estructurales y funcionales de los componentes y los sistemas.

Por otro lado, y en la medida en que la complejidad es difícilmente aprehendida visualmente,⁴⁹ los grafos como “herramienta para detectar las estructuras que subyacen un sistema”⁵⁰ son una herramienta esencial para pensar en sistemas y retener fácilmente el conocimiento sistémico existente y por desarrollar. Por esta razón la arquitectura debe encontrar una forma de diagramación gráfica que así lo permita.

En el modelo propuesto, aplicable para procesos de coordinación sistémica desde el inicio de un proyecto, se procede con la diagramación de los cuatro subsistemas estructurales de una edificación, con su ubicación espacialmente referenciada en el grafo. Se comienza con la estructura al ser el sistema más relevante de una edificación, dado que es el encargado de dar forma y sustento a una edificación. Posteriormente, a esta estructura diagramática se le agrega el desarrollo de los componentes propios de cada subsistema en relación con su posición dentro de la edificación. Por esta razón, la representación gráfica de los subsistemas y componentes se determina en una sección típica de un edificio como forma particular de integrar sistemas. De esta manera es posible reconocer relaciones puntuales entre sistemas concebidas en diferentes sectores de la construcción, las cuales pueden contar con una o más formas organizativas de los componentes. Los objetivos y razones para ser preciso recurrir a la diagramación de sistemas, son cuatro:

- Las imágenes y planimetría no son suficientes para comprender la forma particular de integrar sistemas y sus valores dentro del conjunto general o sistema arquitectura.⁵¹
- La diagramación permite la evaluación de la pertinencia proyectual de componentes y sistemas, en relación con las búsquedas y las necesidades de la arquitectura.

Código	Sistemas integrados en primer orden
E	Estructura
C	Cerramiento
H	Habitable
M	Mecánico
Integración de dos sistemas	
EC	Estructura - Cerramiento
EH	Estructura - Habitado
EM	Estructura - Mecánico
CH	Cerramiento - Habitado
CM	Cerramiento Mecánico
HM	Habitado - Mecánico
Integración de tres sistemas	
ECH	Estructura - Cerramiento - Habitado
ECM	Estructura - Cerramiento - Mecánico
EHM	Estructura - Habitado - Mecánico
CHM	Cerramiento - Habitado - Mecánico
Integración de cuatro sistemas	
CHME	Cerramiento - Habitado - Mecánico - Estructura

Figura. 12. Posibilidades de integración sinérgica o unificada entre variables independientes.

49 Moe, *Integrated Design in Contemporary Architecture*, 5-9.

50 Senge, *Escuelas que aprenden*, 92.

51 Rush, óp. cit., 17.

- Permite retener fácilmente la información y la generalización de formas particulares de edificar (integrar) después del análisis de una muestra significativa de casos de la arquitectura local o mundial.

Ejemplo de diagramación sistemática

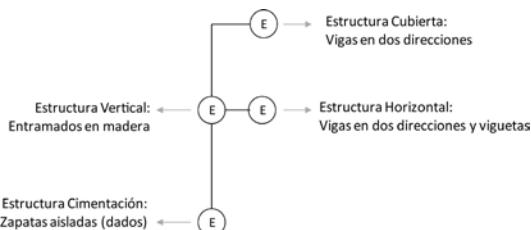


Figura 13. Diagrama general del sistema estructural de una edificación. Subsistemas estructurales.

1. Teja sin traslape calibre 24, galvanizada, con pendiente del 10%.
2. Correas de perfiles C Cold Rolled cada 30 cm.
3. Vigas longitudinales de madera aserrada de 18 x 8 cm.
4. Vigas transversales de madera aserrada de 18 x 8 cm.
5. Perfiles en acero sección T para colgar láminas de dry wall.
6. Láminas de cartón yeso.
7. Red eléctrica. Cableado entre PVC de 1".
8. Bala ojo de buey incrustada en el cielo raso. Suministro eléctrico.

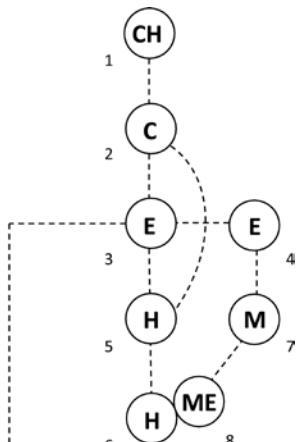


Figura 14. Diagramación de componentes en cubierta.

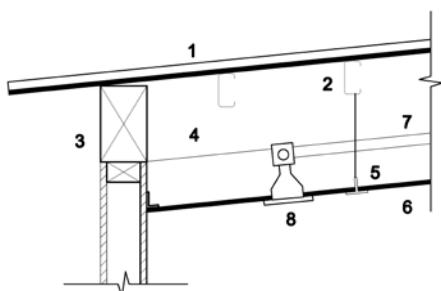


Figura 15. Detalle de cubierta diagramada.

Del ejemplo (figs. 14 y 15) de un armado de cubierta en madera y cubierta liviana es posible hacer inferencias directas. Los componentes son altamente flexibles y permiten su actualización, en correspondencia con un uso de carácter temporal o "semitemporal". Podríamos pensar en que se está diagramando un espacio de ventas, un campamento de obra, o una solución de vivienda. Los tipos de integración que se observan en la cubierta expresada en la figura 15 segregan sistemas removibles, siendo las balas de iluminación el único elemento integrado en primer orden, cambiando su código cromático en el grafo al ser un componente mecánico y de acabado interior a la vez.

Los sistemas segregados en una parte estructural, otra de instalaciones y una más de acabados, determinan una conservación espacial deficiente en la medida en que la estructura del entrepiso ocupa un espacio diferencial al de las instalaciones y por ende demanda la inclusión de cielos raso que cierran a la vista las instalaciones que no se piensan como parte del espacio interior. Para corregir este efecto el grafo requiere la especialización técnica de la estructura, como por ejemplo, en cerchas bi o tridimensionales, o secciones con pasos coordinados para la integración espacial de los componentes. Estas soluciones son técnicamente posibles a medida que el conocimiento técnico de los proyectistas o su integración interdisciplinaria, permita avanzar hacia un sistema sinérgico. De esa forma se hace necesaria la movilización del conocimiento técnico hacia el conocimiento tecnológico, definido éste como el empleo de "técnicas (aplicadas y organizadas científicamente) que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento"⁵² en la optimización de FO.

Un ejemplo antisistémico

El modelo gráfico y conceptual de la casa Domínó propuesto por Le Corbusier, pensada como un principio de composición ávido de reproducción cual célula tipológica de habitación, cayendo en el error de los modelos preconcebidos y "aplicables" masivamente que se niegan a entornos y valores de

⁵² *Diccionario de la Lengua Española [online]*, "Tecnología", disponible en: <http://www.rae.es/>, recuperado: mayo de 2010).

variables independientes particulares, no recurre a pensamiento sistémico, dado que desde una perspectiva integral demandaría la proyección de otros sistemas para su funcionamiento mínimo como espacio habitable.

El modelo establece un sistema estructural al que posteriormente se le añaden los demás sistemas a manera de sumatoria (figs. 14 a 16), *articulándose en un ensamblaje mecánico*. Por esa razón este modelo teórico es una muestra de la determinante disociación de los sistemas arquitectónicos producto de la modernidad, que descartó sin mayores cuestionamientos la lección histórica de la integralidad de los componentes. De ahí que el resultado arquitectónico del modelo Dominó sería abundante en tipos de relación de segundo grado, es decir, uniones con interfaz como producto de la sumatoria lineal de componentes.

Por lo tanto es posible decir que el desempeño en términos de funciones objetivo se ve resuelto sistemáticamente, siendo cada sistema óptimo si se analiza por separado, mas no si se hace desde su

globalidad, dado que no existe un razonamiento *integral* alrededor del sistema general.

Por dicho motivo, en la casa Dominó y su correspondencia con las formas contemporáneas de construir, no existe una IO como en este documento la definimos, en la medida en que no existen innovaciones relacionales desde restricciones avanzadas en la integración sistémica. La modernidad propone un punto de inflexión en la racionalización de sistemas desde el modelo científico tradicional, permitiendo desde allí en adelante la investigación sistémica.

- Modelo original de casa Dominó, de Le Corbusier.
 - Inclusión de red mecánica de desagüe de aguas lluvias.
 - Inclusión de cerramientos interiores y de fachada; fachada cortina y mocheta alrededor de columna y bajante.
 - Inclusión de acabados arquitectónicos y amoblamiento fijo; ventanas, puertas y acabado exterior e interiores).

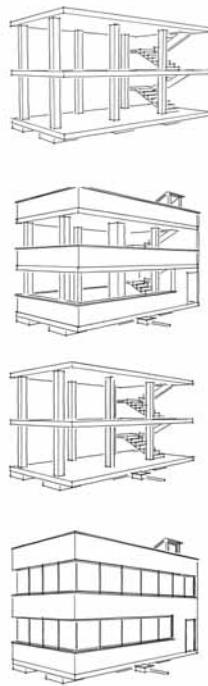


Figura 17. Casa Dominó

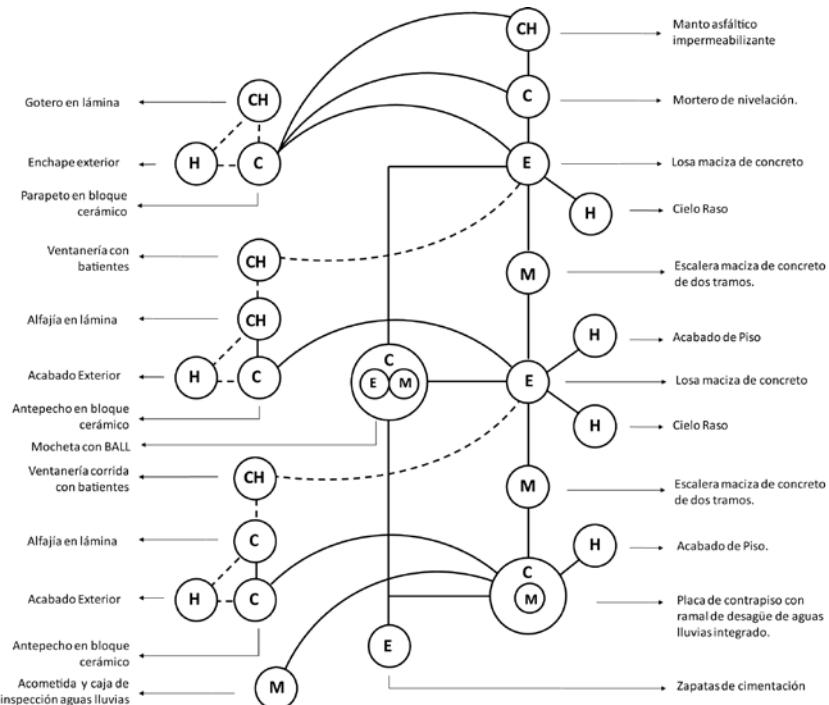


Figura 18. Complementación integral diagramática de sistemas y componentes necesarios para el funcionamiento mínimo como edificación total del modelo de la casa Domínio.

Conclusiones

La práctica de la arquitectura puede ser comprendida desde el pensamiento complejo de sistemas. Para este efecto, pueden ser aplicados conceptos y modelos de investigaciones operativas al entendimiento del flujo de variables del sistema arquetípico arquitectura (fig. 19), con el fin de establecer un panorama global del problema y poder ser insertado en la pedagogía de la profesión, direccionando la investigación y los proyectos hacia búsquedas sensatas tanto funcionales y racionales, sin negar la voluntad de decisión humana determinada por el conocimiento particular de los investigadores/diseñadores.

Entonces, el principal objetivo de la aplicación de la TGS a la práctica arquitectónica y a la pedagogía es el de lograr identificar y transmitir la complejidad implícita en la práctica de la arquitectura, adentrándose en el pensamiento complejo e integral donde cualquier decisión en cualquier etapa del proceso operativo tiene implicaciones en el funcionamiento integral de la edificación. En este modelo arquetípico los objetivos son las determinantes y parámetros de comprobación de innovación, en la medida en que posibilitan la proposición de soluciones técnicas inexploradas. Lo que un estudiante o proyectista debe aprender primero en la resolución de un proyecto es para qué proyecta (objetivos específicos), permitiéndole posteriormente adentrarse en el dónde, cuándo

y qué (lugar y función), y así finalmente lograr comprender y proponer soluciones técnicas de innovación relacional en la resolución de un edificio. Esta posición es totalmente contraria a aquella determinada por la fijación de diseño, en la cual las búsquedas centrales de forma determinan absurdos en la resolución de necesidades básicas. De esta manera, la arquitectura debe ser entendida como un sistema de proceso más que como un producto formal,⁵³ que debe ser objetivamente abordado por cuanto lo que está en juego son necesidades de los usuarios, la comunidad o el ambiente, que demandan objetividad en la solución de sus problemáticas. Esta necesidad de objetivación de la práctica arquitectónica ya ha sido detectada por otros autores y ha derivado principalmente de las nuevas demandas de sostenibilidad exigidas en la resolución de una edificación.⁵⁴

Sin embargo, una vez racionalizado el problema general, existe una serie de problemáticas presentes tanto en la práctica profesional como en la académica que impiden sacar el mayor provecho funcional de un sistema técnico hacia la consecución de un sistema sinérgico altamente eficiente:

- *La linealidad del proceso interdisciplinario* de diseño, que impide la integración disciplinaria.
- *El especialismo disciplinar* del arquitecto como diseñador formal, así como de las profesiones involucradas en el proceso de diseño.

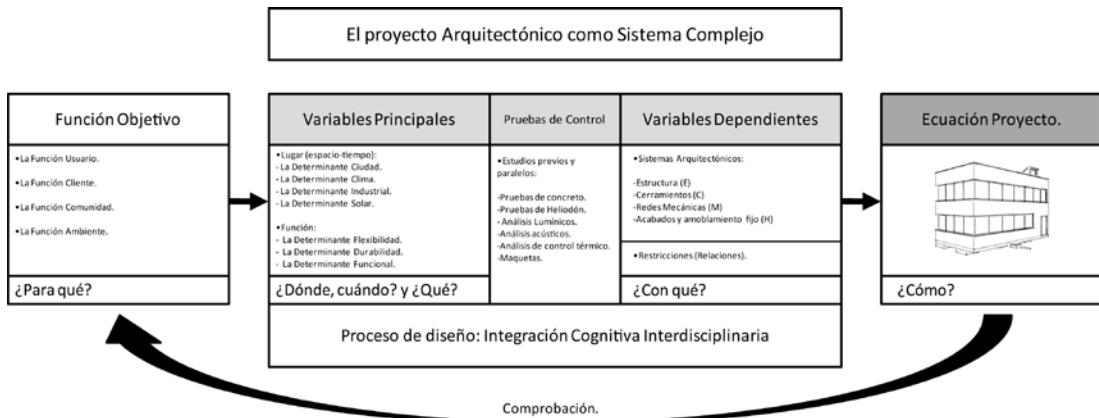


Figura 19. Conclusión. Sistema arquetípico de la práctica arquitectónica desde el modelo de investigación operativa abordado).

53 Pallasmaa, *Vivienda y sostenibilidad en España*, 13.

54 Edwards, *Guía básica de la sostenibilidad*, 44.

- Al lograr retener los resultados integracionistas de procesos de diseño, *la ausencia de un método de apoyo a la enseñanza que logre comunicar investigaciones operativas* particulares, se hace necesario que un estudiante deba aprender no sólo el resultado, sino el proceso racional que éste implica.

De esta manera, los dos primeros problemas determinan un proceso de diseño contemporáneo típico, el cual comienza con un esquema formal que es pasado a diferentes "mesas de dibujo" para coordinar forzosamente la adición de sistemas estructurales y mecánicos. Por esta razón, la integralidad no es alcanzada desde lo que el pensamiento complejo supone, en la medida en que las partes de una edificación son proyectadas separadamente y no logran responder óptimamente a los problemas presentados refuerzan la tradición modernista de segregar sistemas indiscriminadamente.

Para dar solución a estos dos primeros impedimentos, pensar en sistemas supone dos retos fundamentales para la educación de los nuevos profesionales: 1) enseñar la necesidad intrínseca de la profesión de integración transversal de las disciplinas relaciona-

das con la profesión en procesos de diseño paralelos, y 2) enseñar en temas relacionados a las demás profesiones afines que intervienen en el proceso de diseño, construcción y venta de una edificación, para permitir perfilar a los nuevos profesionales de la arquitectura como *facilitadores expertos* de un grupo de trabajo, o gerentes de un proceso complejo, permitiéndoles establecer en un proyecto estrategias de optimización y coordinación de sistemas per se. Cómo diseñar una estructura que conduce la totalidad de los fluidos de las redes mecánicas unificadamente sería sólo un ejemplo de las posibilidades de innovación y optimización que se abren desde esta perspectiva. Por esta razón, la invitación a los nuevos arquitectos es a la acumulación de conocimiento tanto técnico como conceptual de las disciplinas relacionadas con la arquitectura, negando tajantemente la posición del arquitecto como artista genio de obras escultóricas a gran escala y que sólo necesita saber de composición.

En adición, la ausencia de un método de apoyo a la pedagogía que permita la transmisión de investigaciones operativas llevadas a cabo durante procesos de diseño particulares dificulta la inserción

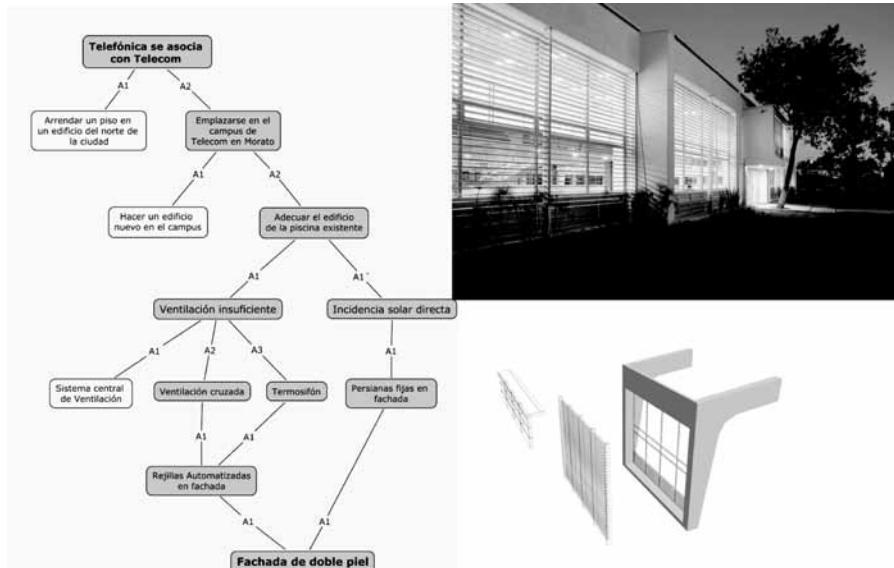


Figura 20. Red de decisiones de IO del diseño de las oficinas corporativas de Telefónica. Arquitectos: Fernando de la Carrera y Alejandro Cavanzo, 2007. Esquema desarrollado en el caso de estudio de este edificio en la investigación "Casos de estudio como apoyo a la enseñanza de la arquitectura".

del pensamiento sistémico en la educación. En esta dirección, lo que un estudiante debe aprender no es sólo lo atinente a un edificio como resultado aislado, sino el proceso particular que a éste ha conducido como respuesta final a un problema global. En otras palabras, debe concretarse un método aplicado que logre transmitir dinámicas situacionistas de 10 particulares, para lo cual el estudio de casos explicativos y los *ciclos causales de decisiones*⁵⁵ son una posible solución para comunicar cómo se desenvuelve un sistema dinámico y complejo como lo es una edificación.

De esta manera, si se logra superar la ausencia de método para graficar el proceso de un sistema dinámico de diseño de una edificación por medio del rastreo de las decisiones que se producen en la delineación de un caso ejemplar de arquitectura, es posible comunicar a los estudiantes cómo se desarrolla una investigación operativa particular. Así se lograría no sólo comunicar integraciones innovadoras en casos ejemplares por medio de los grafos sistémicos ya abordados, sino el cómo y por qué se producen integraciones sistémicas innovadoras.

En resumen, la complejidad de la práctica del diseño arquitectónico puede ser comprendida desde nociones de sistemas complejos e investigación operativa, permitiendo establecer un sistema arquetípico dentro del cual cualquier práctica se inscribe. Para este efecto, el de concebir la práctica de la arquitectura como un proceso lógico de respuesta a objetivos y necesidades particulares, existen dificultades presentes en la práctica contemporánea que así lo impiden, tales como la linealidad del proceso de diseño o el especialismo disciplinar. Para superar los dos problemas es necesario reevaluar el paradigma gerencial tradicional del proceso de diseño de un edificio, y reconocer que la práctica arquitectónica no es aislada de otras disciplinas complementarias, también debe involucrar transversalmente a todos los actores de diseño, y el arquitecto aislado y sin conocimiento técnico en estas disciplinas que gerencia está sentenciado a tipificar respuestas técnicas.

Por otro lado, y una vez racionalizado el sistema general arquitectura, la ausencia de métodos aplicados que logren comunicar la complejidad de un proceso lógico y racional de diseño es un problema que impide la aplicación de la teoría sistémica en la pedagogía de la arquitectura. Ante ello, los diagramas de secuencias causalísticas generadoras de proyectos y los diagramas sistémicos, son la respuesta para retener y transmitir conocimiento en disciplinas de alta complejidad.

Bibliografía

Addis, Bill, *Creativity and Innovation. The structural engineer's contribution to design*. Oxford: Architectural Press, 1964.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. *Normas colombianas de diseño y construcción Sismorresistente*, NSR 10, Decreto 926 de 2010, Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico, 2010.

Atocha, Aliseda, "Teoría de argumentos", UNAM, Instituto de Investigaciones Filosóficas. Disponible en: <http://minerva.filosoficas.unam.mx/~Tdl/05-1/0331Aliseda.ppt> 11, recuperado: julio de 2005.

Bennett, Andrew, "Lost in the Translation: Big (N) Misinterpretations of Case Study Research", 38th Annual Convention of the International Studies Association, 1997. Disponible en: <http://www.ciaonet.org/wps/bea01/>.

Casals, Albert, "Pedagogy and didactics in Architecture Seminar", Bogotá, Universidad de los Andes, 2009.

Clothier, Ian, "Non linearity and Integrated Systems", en *Leonardo*, vol. 41, núm. 1.

Concejo Distrital de Bogotá, *Código de Construcción para Santa Fe de Bogotá*, Bogotá, Concejo Distrital, 1995.

Edwards, Brian, *Guía básica de la sostenibilidad*. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.

55 Kruschwitz, óp. cit., 272.

- Heylighen, Ann. "In Case of Architectural Design" [tesis PHD], Universidad Católica de Leuven, 2002.
- Kahn, Louis I., "Order Is" en *Louis I. Kahn: Writings, Lectures and Interviews* (Alessandra Latour, ed.). Nueva York: Rizzoli, 1991.
- Katz, D.; Kahn, R., "Common Characteristics of Open Systems" en *Systems Thinking*. Middlesex: Penguin Education, 1969.
- Kruschwitz, Nina. "Pensar en sistemas" en *Escuelas que aprenden: un manual de la quinta disciplina para educadores, padres de familia y todos los que se interesen en la educación*. Bogotá: Norma, 2002.
- Lin, Tung. *Conceptos y sistemas estructurales para arquitectos e ingenieros*. México: Limusa, 1991.
- Linares, Pedro; Ramos, Andrés. "Modelos matemáticos de optimización", disponible en: <http://www.gams.com/docs/contributed/>, Madrid, Universidad Pontificia de Comillas, 2001.
- Martí Arís, Carlos. *La cimbra y el arco*. Barcelona: Fundación Caja de Arquitectos, 2005.
- Montaner, Josep Maria. *Sistemas arquitectónicos contemporáneos*. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.
- Moe, Kiel. *Integrated Design in Contemporary Architecture*. Princeton: Architectural Press, 2008.
- Pallasmaa, Juhani, "Nulla Estética Sine Etica" en Solanas, Toni, *Vivienda y sostenibilidad en España*. Barcelona: Gustavo Gil, 2008.
- Rush, Richard. *The Building Systems Integration Handbook*. USA: John Wiley, 1991.
- Senge, Peter. *Escuelas que aprenden: un manual de la quinta disciplina para educadores, padres de familia y todos los que se interesen en la educación*. Bogotá: Norma, 2002.
- Silber, John. *Architecture of The absurd. How genius disfigured a practical art*. Nueva York: The Quantuck Lane Press, 2007.
- Slaughter, Sarah, "Models of construction innovation. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE" (junio 1998), , disponible en: cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?9802310 (acceso: mayo de 2010).
- Sória, Enric, "El proyecto arquitectónico y las estructuras" en *La estructura y el proyecto*.
- Villazón Godoy, Rafael, Programa de Arquitectura de la Universidad de los Andes", Bogotá: inédito, 2010.