1.INDICE

ÍNDICE

RESUMEN EN CASTELLANO

ABSTRACT IN ENGLISH

0.INTRODUCCIÓN

El contexto arquitectónico

El giro termodinámico

Un cartografía alternativa de la modernidad

Entornos Termodinámicos y *Patrones Termodinámicos*

1.ATMÓSFERAS TERRITORIALES

Introducción

El aire acondicionado y el macro-clima

Envolventes selladas

Climas cambiantes. El giro climático

Envolventes mediadoras. Olgyay y la apuesta climática

Clima y forma. Conexiones morfológicas

Climate tectonics: efectos superficiales

Fuentes y sumideros alternativos

De los sistemas cerrados analógicos a la termodinámica abierta digital

2.ATMÓSFERAS MATERIALES

Introducción

El aire acondicionado y el espacio interior moderno

De soluciones *regenerativas* a soluciones *estructurales*

El interior, la geometría solar y la aerodinámica

Matter matters

Thermodynamic Mix-use. Reciclando la disipación programática

Espacio interior y gestión termodinámica. Captación, almacenaje y dispación

3.ATMÓSFERAS FISIOLÓGICAS

Introducción

Del aire químico al aire psicrométrico. Aproximaciones cuantitativas y cualitativas

De la salud al confort. El aire acondicionado y la exploración del clima ideal

Fisiologías del aire acondicionado: el modelo de confort homeostático

Cuestionando el aire acondicionado: caminos alternativos

Expandiendo la interacción atmosférica

El diseño de atmósferas. Entre lo estético y lo político

4.CONCLUSIONES

Cartografía histórica

Cartografía crítica

Cartografía proyectiva

Epílogo. *Entornos Termodinámicos* es un proyecto político

BIBLIOGRAFÍA

CRÉDITOS DE FOTOGRAFÍAS

ÍNDICE EXTENDIDO

AGRADECIMIENTOS

2.RESUMEN

La presente cartografía explora la historia de las ideas termodinámicas en la relación entre arquitectura y clima desde principios del siglo XX hasta la actualidad. Estudia, con el paso de los sistemas en equilibrio a los alejados del equilibrio como trasfondo, como las ideas termodinámicas han ido gradualmente infiltrándose en la arquitectura. Partiendo del desarrollo del aire acondicionado, la cartografía estudia como las técnicas de acondicionamiento ambiental modernas dan paso a las técnicas pasivas y bioclimáticas, analizando como un modelo termodinámico basado en edificios sellados y aislados del exterior, da lugar a un modelo en el que la arquitectura intercambia de modo libre energía con el medio. Junto a este empeño por definir una agenda para la arquitectura desde el rigor de la termodinámica, esta cartografía pretende equilibrar esta dimensión científica con un estudio histórico del contexto cultural en que se desarrollan estas arquitecturas.

A continuación se justifica brevemente la pertinencia de esta cartografía en la cultura arquitectónica actual, y la relevancia del giro termodinámico. Además se explica la estructura y el método de investigación propuestos, y se resumen las conclusiones.

EL CONTEXTO ARQUITECTÓNICO: ENTRE EL DESEMPODERAMIENTO Y LA SOSTENIBILIDAD

Durante las últimas décadas la arquitectura ha sido impulsada por dos fuerzas opuestas que ayudan a explicar la pertinencia de esta cartografía.

Por un lado, desde los años cincuenta, la arquitectura ha aumentado progresivamente su pérdida de agenciamiento político. Esta tendencia ya comenzó con la revisión del Movimiento Moderno, se consolidó en los años ochenta con la introducción de la *arquitectura crítica*[1] y recientemente ha recobrado impulso a través de la *arquitectura post-crítica,*[2] pasando a ser considerada una práctica material marginal dónde la acción política no tiene cabida. Esta tendencia entiende que la disciplina de la arquitectura no puede ser crítica con el status quo económico y político, lo que ha provocado que la *arquitectura* bien busque refugio en la autonomía disciplinaria o que se integre de modo a-crítico en las dinámicas capitalistas. Como

resultado los arquitectos se han concentrado en las cuestiones culturales, rechazando el reto de enfrentarse a la realidad.

Paralelamente durante las dos últimas décadas ha aparecido una creciente preocupación por el medioambiente que ha tenido una gran influencia sobre la arquitectura, la arquitectura del paisaje y el urbanismo. Aunque inicialmente pareció revitalizar el compromiso de la arquitectura con la realidad, lamentablemente sólo ha reforzado su pérdida de agenciamiento político. Etiquetada bajo el término genérico de *sostenibilidad* esta fuerza motriz, lejos de ser utilizada para renovar las disciplinas de la arquitectura y el urbanismo, bien se atrincheró en un enfoque regionalista o *low-tech*,[3] o se alineó con las fuerzas del mercado extendiendo el proyecto *post-crítico* en una renovada versión *verde*. Los arquitectos, debido a sus implicaciones técnicas, han sido incapaces de responder a esta nueva demanda social, lo que ha motivado su asunción por el campo de la ingeniería desempoderando aún más a la disciplina de la arquitectura. Los ingenieros han desarrollado un enfoque cuantitativo centrado en la optimización de los protocolos de diseño existentes —como por ejemplo el desarrollo de sistemas ambientales de alta eficiencia energética— pero sin cuestionar los modelos termodinámicos en los que se basan las prácticas constructivas. Esta situación ha dejado a la arquitectura atrapada en una práctica profesional acrítica y marginal, limitando su campo de trabajo al diseño de fachadas icónicas[4] ahora climáticamente optimizadas.

Recientemente esta situación está empezando a cambiar, y el aparente callejón sin salida al que estas dos tendencias han llegado está siendo transformado para construir una agenda arquitectónica más robusta. En primer lugar varias voces están instando a recuperar el agenciamiento político perdido que, a la luz de desafíos como el cambio climático, la progresiva disminución de recursos naturales, y las crecientes desigualdades sociales y económicas, es una tarea urgente.[5] En paralelo, otros autores están reclamando la necesidad de escapar de la perpetuación de los paradigmas modernos de la energía y los credos del rendimiento y la eficiencia energética, y plantean la necesidad de introducir, a la luz de los cambios culturales y científicos, los modelos científicos de la termodinámica y la ecología en la arquitectura.

Esta cartografía se alinea con este doble esfuerzo, delineando una agenda termodinámica para la arquitectura que le devuelva su agenciamiento político.

AGENDA TERMODINÁMICA

La necesidad de introducir los nuevos modelos termodinámicos y ecológicos[6] en la arquitecturano estuvo originalmente conectada al paradigma de la sostenibilidad. Fue puesta en escena por autores como Fernández-Galiano o Sanford Kwinter[7] que ya pronosticaron en los años ochenta la necesidad de actualizar la arquitectura y el urbanismo con el desarrollo de la nueva epistemología científica, proponiendo sustituir el modelo mecánico para otro termodinámico. Esta perspectiva introdujo un nuevo entendimiento de la realidad material bajo la cual un edificio dejaba de ser considerado como un objeto aislado y pasaba a ser un agregado de materia, energía e información —sistema termodinámico abierto— que interactuaba activamente con el medio y sus cambiantes condiciones de contorno.

En los últimos años, y ante la necesidad de buscar alternativas al ya obsoleto paradigma de la termodinámica del equilibrio sobre el que se inscriben las prácticas sostenibles, la propuesta de introducir la termodinámica a la arquitectura ha sido gradualmente asimilada, y comienzan a ser materializadas en proyectos concretos. Al menos dos líneas de actuación se pueden distinguir. Una primera línea entiende que los edificios son sistemas materiales y de energía insertados en contextos ecológicos más amplios.[8] Lejos de ser considerados como objetos aislados, cualquier construcción pertenece a un campo expandido que vincula su estructura a los ecosistemas de donde proceden sus componentes materiales, lo que aproxima la arquitectura a la logística de materiales y al campo de la ecología. Una segunda línea entiende que existe una interacción termodinámica entre una construcción y la atmósfera. Este campo de estudio entiende que los edificios forman parte del umbral que existe entre la corteza terrestre y la atmósfera, y por lo tanto interactúan termodinámicamente con los fenómenos atmosféricos no visibles que la caracterizan. En función de variables como la orientación, la vegetación o la porosidad, una construcción interactúa con la meteorología local, induciendo un microclima concreto.

Esta segunda línea de actuación introduce la arquitectura en el campo de los fenómenos termodinámicos atmosféricos, que es asunto en el que se centra esta tesis. Ya se ha argumentado que la pertinencia de esta cartografía debe ser enmarcada desde la necesidad de actualizar la arquitectura desde la termodinámica. Sin embargo esta necesidad debe complementarse con un debate cultural de la historia de las ideas termodinámicas en la arquitectura, que es uno de los principales objetivos de este de cartografía.

CARTOGRAFÍA HISTÓRICA

Esta cartografía explora la historia de las ideas termodinámicas desde la década de 1910, centrándose en las interacciones termodinámicas entre la arquitectura y la atmósfera. El objetivo es entender la historia de la arquitectura desde la perspectiva del paso de la termodinámica de los sistemas en equilibrio a la de los sistemas alejados del equilibrio. El objetivo no es sólo proporcionar conocimientos específicos —ideas, conceptos y estrategias termodinámicas aplicables a la arquitectura— sino también adquirir una distancia crítica con la Modernidad, proporcionando un conocimiento histórico que ponga en tela de juicio enfoques unívocos ya obsoletos.

La ciencia de la termodinámica se inició a mediados del siglo XIX impulsada por la necesidad de entender los procesos disipativos que se desarrollaban en las máquinas de vapor. Influida por el paradigma científico newtoniano, su primera formulación se hizo a través de la termodinámica del equilibrio que entendía que los sistemas de energía, aislados del medio ambiente, muestran un comportamiento constante coherente con la Ley de la Conservación de la Energía. La aparición del concepto de entropía socavó la supuesta permanencia y estabilidad de las estructuras materiales, conduciéndolos hacia la termodinámica de los sistemas alejados del equilibrio. Esta idea de irreversibilidad se amplió en la década de 1950 cuando Ilya Prigogine desveló que en los procesos entrópicos, la materia y energía en disipación puede, lejos del equilibrio, convertirse en una fuente de orden.[9] El cambio de la termodinámica del equilibrio a la termodinámica alejada del equilibrio dio luz a una nueva

epistemología científica que pasó de entender una realidad reversible, cerrada y en estado estacionario, a un mundo irreversible, abierto, activo y cualitativo.

Ya en el ámbito de la arquitectura, el paso de la termodinámica de los sistemas en equilibrio a la de los sistemas alejados del equilibrio también está presente en la historia de la arquitectura en el paso de las técnicas de control climático mecánico modernas a las técnicas bioclimáticas pasivas.

El paradigma constructivo de la modernidad sobre el que —sorprendentemente— la arquitectura todavía se apoya, sintetizaba la arquitectura en dos elementos: por un lado una envolvente prefabricada ligera y por otro un sistema de control de clima mecánico. Esta envolvente estanca y bien aislada reducía las interacciones energéticas al mínimo, limitando los intercambios de calor a las transferencias lineales por conducción,[10] como queda patente en el todavía comúnmente empleado coeficiente de transmisión térmica K. Además, el énfasis puesto en la creación de una isla climática aislada del exterior conceptualizaba la arquitectura como un sistema termodinámico cerrado. Es importante señalar que estas dos cuestiones llevaban la arquitectura al ámbito de la termodinámica de los sistemas en equilibrio. Por otra parte, existía una correspondencia entre el modelo termodinámico propuesto por la industria del aire acondicionado y el modelo homeostático de confort térmico humano. Este modelo fisiológico considera que la comodidad se alcanza cuando el cuerpo está en equilibrio térmico con la masa de aire acondicionado que lo envuelve. En este concepto se basa índice de confort PMV (*mean predicted vote*) de Ole Fanger, que sigue siendo el método de evaluación de confort térmico utilizado actualmente por la ASHRAE. En consecuencia se puede argumentar que la conceptualización de los intercambios de energía en la arquitectura moderna estaba limitada a la termodinámica de los sistemas en equilibrio.

Sin embargo, la historia de la arquitectura ofrece numerosos ejemplos en los que la arquitectura ha sido conceptualizada como un sistema termodinámico abierto. Esta nueva aproximación fue introducida por Víctor y Aladar Olgyay a través del bioclimatismo. Aunque los Olgyay consideraron que habían fundado su trabajo sobre la termodinámica de equilibrio, el entendimiento de que los intercambios de energía entre el clima y la arquitectura eran

variables, transitorios e irreversibles introdujo la idea de que una construcción es un sistema termodinámico abierto en constante interacción con el clima exterior. Este cambio cuestionó el modelo termodinámico de la modernidad e introdujo la arquitectura en el ámbito de la termodinámica de los sistemas alejados del equilibrio.

Este argumento abre la posibilidad de emprender una exploración alternativa de la historia de la arquitectura moderna que se centre en este cambio. Este cometido requiere revisar una serie de cuestiones que, a pesar de que haber sido obviadas en las discusiones académicas, son ineludibles y forman una parte integral de los procesos constructivos. Cuestiones como el clima exterior, el comportamiento térmico de los sistemas materiales o las implicaciones que tiene para la arquitectura de la fisiología del confort humano, han sido sistemáticamente excluidos de los debates arquitectónicos y relegados al ámbito de la ingeniería, pero sin embargo están conectados a la dimensión antropológica de la arquitectura como refugio climático, y profundamente arraigadas en nuestra disciplina. Es por ello, a la luz de desafíos como el cambio climático, la escasez de materiales y energía y otras desigualdades globales, por lo que resulta necesario revisar estas cuestiones, y aceptarlas como una parte integral de la disciplina de la arquitectura.

En consecuencia esta cartografía revisita las figuras fundamentales de Willis H. Carrier, Aladar y Victor Olgyay o Baruch Givoni los cuáles, a pesar de haber tenido una importancia relativa en los grandes relatos sobre la historia de la arquitectura, jugaron un papel esencial a la hora de explorar las conexiones entre la arquitectura, la atmósfera y la energía. Del mismo modo esta cartografía explora disciplinas científicas como la meteorología, la micro-climatología, la ciencia de materiales, la fisiología o la neurobiología, y a personajes como Rudolph Geiger o Eugene F. Dubois que tradicionalmente han sido obviados, pero que bajo la perspectiva de la termodinámica se les debe devolver la relevancia que merecen tener. Además, es importante señalar que esta cartografía se centra en el contexto de América del Norte, lo que no es coincidencia ya que el aire acondicionado fue inventado y desarrollado en los Estados Unidos, y la aproximación bioclimática fue en cierta medida una reacción local a su desarrollo y éxito.

Como efecto colateral el estudio de importantes arquitectos, paisajistas, urbanistas y críticos de la arquitectura ha sido obviado. La obra de figuras como Richard Neutra, Paul Rudolph o el paisajista Lawrence Halprin debe ser reconocida por ser pionera en la exploración de la interacción entre arquitectura y atmósfera. Sin embargo, dado que sus contribuciones ya se han explorado extensamente en otros trabajos, esta cartografía se centra únicamente en aquellas figuras que desde un punto de vista termodinámico todavía no han sido estudiadas.

ENTORNOS TERMODINAMICOS* Y *PATRONES TERMODINÁMICOS

Esta cartografía explora aquellas experiencias pasadas que son relevantes para desarrollar un enfoque atmosférico a la arquitectura. Uno de sus principales objetivos es que las preocupaciones energéticas y las arquitectónicas converjan, por lo que la estructura y metodología de investigación que se ha empleado es instrumental para estudiar ambas cuestiones. La estructura y metodología debería abordar la termodinámica de una manera clara y sintética, y por otro lado ser pertinente y coherente con los intereses de la arquitectura.

La termodinámica es el campo de la física que estudia cómo los sistemas materiales intercambian energía. A diferencia de los conceptos que provienen de la ecología que han sido —por lo general— aplicados a la arquitectura y el urbanismo de una manera metafórica, la termodinámica tiene la capacidad de conectar de un modo concreto los intereses arquitectónicos con las cuestiones atmosféricas. Asuntos como la volumetría exterior, la estructura espacial interior, los sistemas materiales, o el programa tienen un efecto decisivo en el régimen de intercambios termodinámicos que se producen en un edificio. Sin embargo, el potencial que la termodinámica ofrece para informar a la arquitectura se ve obstaculizado por la dificultad que existe para entender de modo sintético la amplia variedad de fenómenos termodinámicos que tienen lugar en un edificio. Esta complejidad ha impedido sintetizar los flujos termodinámicos que tienen lugar en los edificios y en consecuencia, a reconocer cómo estos flujos afectan a la arquitectura. Por tanto esta cartografía requiere una estructura y una metodología que proporcione un entendimiento sintético de los diferentes intercambios

termodinámicos que tienen lugar en la arquitectura, y que por otro lado sea coherente con los intereses específicos de la arquitectura.

Los flujos de energía ocurren siempre que existe un gradiente de energía —ya sea una diferencia de temperatura, de presión o de altura— entre una fuente y un sumidero. Mientras que los flujos de energía se producen espontáneamente y son difíciles de visualizar, las fuentes y los sumideros pueden ser identificados fácilmente. Reconocer las fuentes y los sumideros permite identificar los sistemas que intercambian energía, lo que ayuda a entender el alcance de los intercambios termodinámicos. De acuerdo con los diferentes sistemas que intercambian energía en torno a un edificio, esta cartografía se estructura en tres *entornos termodinámicos*: atmósferas territoriales, atmósferas materiales y atmósferas fisiológicas, que presentan de un modo sintético la gama de las interacciones termodinámicas que tiene lugar en un edificio:

Como constructo espacial y material inmerso en un campo termodinámico, existe un flujo bidireccional continuo de energía entre un edificio y su contexto, que define un primer entorno termodinámico que denominamos *atmósferas territoriales*. La industria del aire acondicionado, al desconocer la naturaleza de los intercambios de energía que existían entre el clima exterior y la arquitectura, optaron inicialmente por sellar y aislar los edificios creando islas climáticas. Este entendimiento se transformó cuando años después se aplicaron los conocimientos sobre micro-climatología a como la arquitectura —a través de su volumetría, las características termodinámicas de los materiales o su porosidad— interactúa con el clima de un lugar para generar un microclima particular.

Por otro lado, dentro de los edificios el flujo termodinámico entre la arquitectura y su ambiente interior define un segundo entorno termodinámico, que denominamos *atmósferas materiales*, que explora las interacciones energéticas entre el ambiente interior y sus sistemas materiales. Esta parte estudia como los paradigmas espaciales y materiales de la construcción moderna provocaba efectos climáticos indeseados —como el efecto invernadero o las corrientes verticales de aire— que sólo podían ser corregidos a través del aire acondicionado y de las envolventes selladas. A continuación se estudia como las técnicas de arquitectura pasiva, a través de cuestiones específicamente arquitectónicas como la estructura espacial o

material, logran gestionar los flujos de energía existentes en un lugar para obtener un microclima interior específico.

Y por último, el tercer entorno termodinámico, al que denominamos *atmósferas fisiológicas*, explora los intercambios de energía entre el cuerpo humano y el medioambiente invisible que lo envuelve, centrando el interés de los arquitectos en las interacciones entre la atmósfera y los procesos psicosomáticos de los usuarios. La industria del aire acondicionado entendía que el cuerpo humano estaba en situación de confort cuando existía un equilibrio en el flujo de calor entre el cuerpo y el aire que lo rodeaba. Este modelo de confort es aplicable únicamente a ambientes tecnificados en los que existe una atmósfera continua con valores psicrométricos constantes. La arquitectura pasiva introduce un ambiente variado y cambiante que reconduce el campo del confort a nuevos ámbitos como la experiencia térmica, que deben sumarse a la ya manida experiencia visual y a la menos conocida experiencia háptica.

Dentro de estos tres entornos termodinámicos, los flujos de energía inducen por la interacción con una estructura espacial y material, unos fenómenos termodinámicos concretos. Esta cartografía reconoce en cada uno de estos tres entornos cuáles son los *patrones termodinámicos* inducidos por la interacción de los flujos de calor que se dan entre los distintos sistemas que forman la arquitectura.

El resultado es un manual que, mediando entre la arquitectura y la ciencia, presenta una cartografía histórica que, además, tiene un carácter proyectual. Por lo tanto ésta cartografía explora dentro de cada uno de los tres *entornos termodinámicos* cuáles son las cuestiones específicas del proyecto de arquitectura —como por ejemplo el contexto, las estrategias espaciales y materiales, el programa, o la fisiología del cuerpo humano— que por otro lado son parte activa de los intercambios de calor, definiendo una visión integradora que sea relevante tanto para la arquitectura como para la energía. De este modo en paralelo al relato histórico se elabora una agenda termodinámica para el proyecto de arquitectura, estudiando las herramientas necesarias para reintroducir la dimensión termodinámica en la arquitectura. Y esto constituye uno de los pasos necesarios para que la arquitectura recupere la capacidad de intervenir en la acuciante realidad a la que se enfrenta.

Como conclusión se puede argumentar que esta cartografía desvela la necesidad de que la arquitectura sintetice sus dimensiones formales, materiales, programáticas, tecnológicas y performativas como una práctica material convergente.[11] Y esta cuestión debe ser llevada no solo a la arquitectura y a los procesos constructivos, sino a los campos de la teoría y de la docencia dónde se encuentra, en gran medida, el futuro de la disciplina. El desarrollo de una arquitectura convergente posibilitará una relación mejor conectada con la realidad, permitiendo un compromiso mayor con los retos a los que la arquitectura se enfrenta.

3.CAMBIOS

La presente tesis doctoral, a caballo entre un texto de arquitectura y uno científico, analiza la historia reciente de la relación entre la arquitectura y el acondicionamiento ambiental, a través de la perspectiva de la termodinámica. El resultado es un manual de arquitectura y ciencia aplicada que estudia una serie de episodios que son fundamentales para entender el paso de las técnicas modernas de acondicionamiento ambiental a las técnicas pasivas, poniendo de manifiesto las continuidades y discontinuidades entre ambas aproximaciones.

El contenido es de interés no solo para el público no especializado interesado, por mostrar en clave histórica por primera vez del paso del aire acondicionado a la arquitectura bioclimática, sino también para el público especializado —desde arquitectos, paisajistas, urbanistas, ingenieros, hasta todos aquellos profesionales dedicados a reducir la huella ecológica de la arquitectura— por mostrar la dimensión proyectual de las relaciones entre arquitectura, clima y energía.

En este sentido el cambio principal cambio que se quiere realizar es reducir la complejidad del lenguaje científico y técnico de modo que su lectura sea más sencilla. Igualmente se quieren reducir en extensión aquellos episodios cuya contenido más se acerque a cuestiones periféricas a la arquitectura.

Javier García-Germán, 16 de junio de 2015

[1]Con una fuerte influencia del pensador italiano Manfredo Tafuri, esta idea fue descrita con precisión por Michael Hays en el artículo "Critical Architecture: Between Culture and Form" publicado en *Perspecta 21: The Yale Architectural Journal,* 1984.

[2]Al igual que el concepto de *arquitectura crítica*, las ideas subyacentes al concepto de *post-critical architecture* fueron compartidas tanto por los europeos como por los estadounidenses. La idea de *post-critical architecture* fue definida por primera vez por Robert Somol y Sarah Whiting en el artículo "Notes on the Doppler Effect and Other Moods on Modernism", publicado en *Perspecta 33: The Yale Architectural Journal,* 2002. La versión europea puede encontrarse en artículos como "No More Dreams? The Passion for Reality in Recent Dutch Architecture…and Its Limitations" de Roemer van Toorn, publicado originalmente en *Architecture in the Netherlands Yearbook, 2003-04* (2004. Nai Publishers: Rotterdam).

[3]Esta vena se puede identificar tanto en la resistencia de Kenneth Frampton al consumismo y la globalización a través del concepto de *regionalismo crítico,* o en enfoque *low-tech* socialmente comprometido de la arquitectura de Lacaton&Vassal.

[4]Este argumento ha sido expuesto por Iñaki Ábalos en el artículo "Thermodynamic Materialism. Project (Site Plan)" del libro *Thermodynamic Interactions* (ACTAR: New York) editado por Javier García-Germán que próximamente será publicado.

[5]El descrédito del star-system por su alineación con las fuerzas económicas y políticas, y el creciente interés por la participación social ha cobrado impulso durante la última década. La obra de arquitectos como Lacaton&Vassal o Rural Studio y los escritos de críticos como Felicity D. Scott o Reinhold Martin han perseguido durante los últimos años revitalizar el proyecto político en la disciplina de la arquitectura.

[6]El *giro termodinámico* se refiere a una transformación significativa en la epistemología científica que tuvo lugar a lo largo del siglo XX y que transformó la realidad controlada, cerrada y cuantitativa de la física mecánica, por la realidad abierta, activa y cualitativa de la biología. Introducido por los sistemas termodinámicos alejados del equilibrio, fue más allá del marco de la física termodinámica para explicar en términos cualitativos la totalidad de los fenómenos naturales y sociales.

[7]La introducción de la termodinámica de los sistemas alejados del equilibrio a la arquitectura fue puesta en escena casi al mismo tiempo y de forma independiente por Luis Fernández-Galiano y por Sanford Kwinter. Fernández-Galiano escribió los textos que componen el libro *El Fuego y la Memoria* en 1982, y Kwinter explica que el libro *Architectures of Time* fue escrito entre 1984 y 1989. Fernández-Galiano, Luis. *Fire and Memory. On Architecture and Energy.* 2000 (1991). MIT Press: Cambridge, Massachusetts. Kwinter, Sanford. *Architectures of Time. Toward a Modernist Theory of the Event in Modernist Culture.* 2002. MIT Press: Cambridge, Massachusetts; London, England.

[8]Esta cuestión fue originalmente formulada por Howard T. Odum, posteriormente fue introducida a la arquitectura con la obra especulativa de Buckmister Fuller y John McHale, y años más tarde fue

desarrollado por el campo de la ecología de los procesos constructivos. Entre otros autores, esta cuestión ha sido recientemente abordada por Kiel Moe que ha tratado de comprender la base material de la arquitectura en el contexto de las relaciones ecológicas. *Convergence. An Architectural Agenda for Energy.* 2013. Routledge: Abingdon, Oxfordshire.

[9]Prigogine, Ilya y Stengers, Isabelle. *La Nueva Alianza. Metamorfosis de la Ciencia.* 1983. Alianza. Madrid. Capítulo II: "La Ciencia de la Complejidad", section 3: "De las Máquinas Térmicas a la Flecha del Tiempo".

[10] Moe, Kiel. "Insulating North America," *Journal of Construction History*, Vol. 27, January 2013, pp. 87-106.

[11] Esta idea ha sido desarrollada por Kiel Moe en el libro *Convergence. An Architectural Agenda for Energy.* 2013. Routledge: Abingdon, Oxfordshire.