
LEONARDO AGURTO VENEGAS

INSTITUTO DE ARQUITECTURA Y URBANISMO,
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y ARTES,
UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
VALDIVIA, CHILE
LEONARDO.AGURTO@UACH.CL

NICOLÁS FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ

VALDIVIA, CHILE
NICOLAS.FERNANDEZ@ALUMNOS.UACH.CL

FERNANDO PALMA FANJUL

FACULTAD DE DISEÑO UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO,
CONCEPCIÓN, CHILE
FRPALMA@UBIOBIO.CL

PEDRO ORELLANA AGÜERO

FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y
GEOGRAFÍA, UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
CONCEPCIÓN, CHILE
PEDORELL@UDECC.CL

Prótesis bioclimáticas: interfaz emancipadora para la libre adaptabilidad de los espacios transicionales

Bioclimatic Prostheses: an Emancipating Interface for the Free Adaptability of Transitional Spaces

Resumen. Las personas pueden influenciar y participar en la creación de tecnologías a partir de sus propios comportamientos de adaptabilidad y autoconstrucción en contextos de vulnerabilidad habitacional. Actualmente, uno de los desafíos del diseño, es reflexionar sobre su capacidad para ser agente en la transformación social, en este caso, desde la generación de artefactos para adaptar espacios transicionales en la arquitectura. El débil confort térmico y la baja adaptabilidad que caracteriza a las viviendas sociales de América Latina hace urgente buscar soluciones para rehabilitar y mejorar viviendas existentes.

La intervención sobre los espacios transicionales, que se ubican en un ámbito híbrido entre el interior y el exterior, entre lo público y lo privado, poseen un valor doble. Por un lado, son determinantes para las demandas de confort y energía; por otro lado, permiten generar espacios intermedios propios para la interacción. Reconociendo estos valores duales, se propone el diseño de un sistema guiado de soluciones tecnológicas flexibles, adaptables y auto construibles por las propias personas, que se denominan *Prótesis bioclimáticas*, integrables a la casa como una prótesis a un cuerpo, con el objetivo de suplir una necesidad espacial, reconociendo la naturaleza material y los conocimientos propios de la comunidad.

Palabras clave: arquitectura adaptativa, autoconstrucción, diseño bioclimático, espacios transicionales, sistema modular

Abstract. People can influence and participate in the creation of technologies based on their own adaptability and self-construction behaviours in contexts of vulnerable housing. Currently, one of the main challenges of design is to reflect on its ability to be an agent in social transformation, in this case, from the generation of components and artefacts to adapt transitional spaces in domestic architecture. The weak thermal comfort and lack of adaptability that characterize social housing in Latin America makes urgent to seek solutions to rehabilitate and improve existing housing.

The interventions on the transitional spaces, which are located in a hybrid environment, between the interior and the exterior, blurring limits between public and private spaces, creating complexity, have a double value. On one hand, they are decisive to reduce energy demands; and on the other hand, they allow the generation of their own intermediate spaces to foster social interaction. Recognizing these dual values, we propose to develop a system of adaptable technological solutions to be build and installed progressively by the people themselves, which are called *Bioclimatic Prostheses*, for houses and facades as a prosthesis to a body, with the aim of supplying special necessities, recognizing climate, environment and the community's own knowledge.

Keywords: adaptive architecture, bioclimatic design, modular system, self-construction, transitional spaces

Fecha de recepción: 27/01/2021

Fecha de aceptación: 14/06/2021

Cómo citar: Agurto, L., Fernández, N., Palma, F. & Orellana, P. (2021)

Prótesis bioclimáticas: interfaz emancipadora para la libre adaptabilidad de los espacios transicionales.

RChD: creación y pensamiento, 6(10), 01-17

DOI: 10.5354/0719-837X.2021.60897

Revista Chilena de Diseño,

rChD: creación y pensamiento

Universidad de Chile

2021, 6(10)

<http://rChD.uchile.cl>

Introducción

Los espacios transicionales son una dimensión que emerge desde la arquitectura, pero que la expande y otorga riqueza desde el punto de vista de la adaptabilidad, conformando filtros intermedios regulables con un medio ambiente o entorno dado, generando graduaciones que dosifican la interperie (Lopez de Asiaín, 2010), otorgando la posibilidad de generar control sobre el hábitat y su relación con el exterior. En un contexto de vivienda social, estas posibilidades son aún más valiosas, dada la imperiosa necesidad de espacios de transición cuya integración se vuelve ineludible, tanto para el control del clima interior (Evans, 2007), como para establecer y readaptar espacios que prolonguen estos interiores, casi siempre limitados, para transformarlos en espacios funcionales tanto lo individual/familiar (Peñaloza Monares, 2012) o para lo comunitario, el encuentro e intercambio (Rapoport, 1977; Agurto, 2002; Sansão Fontes & Couri Fabião, 2019).

En Latinoamérica, grandes áreas urbanas actualmente consolidadas han sido originadas desde el desarrollo de viviendas de interés social, con baja o nula relación con los condicionantes del lugar en su diseño y la falta de adaptabilidad tanto en los espacios públicos como en las viviendas y sus espacios intermedios. El análisis de diversos contextos latinoamericanos y el estudio de un amplio número de casos (Torner et al., 2006; Guerra Ramírez, 2003; Vieira, 2010), dan cuenta de factores comunes en un diagnóstico sobre la ausencia de estos espacios intermedios en la vivienda social en América Latina; revelan tres patrones comunes que se repiten como características del diseño que se ha realizado y resumen la problemática expuesta:

1. La desconexión desde perspectivas espaciales y materiales con los ambientes circundantes.
2. Recintos de bajo costo construidos con criterios de confort medioambiental muy básicos, a lo que se suma el uso de pieles de una resistencia térmica inferior a la necesaria, con aislamiento insuficiente y presencia de materiales expuestos en las paredes exteriores.
3. La ausencia de cualquier tipo de filtros intermedios preparado para brindar cierta adaptabilidad medioambiental.

Dada esta situación crítica, se necesita generar adaptabilidad y dinamismo estacional y diurna/nocturna en las fachadas y envolventes, lo que no puede ser resuelto si no se intervienen de manera directa. La experiencia demuestra que se abre una enorme posibilidad cuando se crean interfaces que multipliquen los medios de respuesta y de relación directa entre los usuarios y la fachada (Vuarneason, 1973). Dados estos contextos, es necesario que sean los propios usuarios quienes tengan la posibilidad de tomar la iniciativa en generar adaptabilidad tanto funcional como medioambiental, dada la rigidez del soporte actual.

Este estudio es parte del resultado parcial de un proyecto colectivo aún en curso denominado *prótesis bioclimáticas*, que ha nacido como una tesis de doctorado para transformarse en un trabajo de investigación mediante diseño, en el que se han sorteado diferentes etapas, todas tendientes a un objetivo común: crear una base de datos de acceso libre con soluciones bioclimáticas prefabricadas y auto-construibles, probadas y listas para descarga y autoconstrucción (Agurto, 2016). El proyecto busca como uno de sus prin-

cipales objetivos, fomentar la creación progresiva de un sistema integrado de soluciones de arquitectura adaptativa para la rehabilitación energética y funcional de viviendas sociales existentes. El sistema, que interrelaciona estas soluciones, permitiendo transformar y adaptar las fachadas de los edificios insertando diversas funciones simples o complejas, parte desde un sistema base reticular relacionador/modulador y unos elementos modulares insertables y removibles. Así funciona un sistema que puede complejizarse a voluntad y desmontarse fácilmente.

Hoy en día, la vivienda colectiva representa la confluencia de varias complejidades reales, como cuestiones ambientales, políticas (Klak, 1993), de escala, emocionales (Longhurst & Hargreaves, 2019) y energéticas (Braubach & Ferrand, 2013; Giancola et al., 2014). Cabe mencionar en ese último aspecto que el parque de edificios en América Latina consume más de un tercio de la energía primaria (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2016). En consecuencia, la contaminación en las ciudades subtropicales de América Latina está teniendo un gran impacto en la salud, especialmente durante el invierno (World Health Organization [WHO], 2016). Se estima que entre el 15,2% y el 26,7% de la población latinoamericana vive en viviendas vulnerables (Baker, 2012). Esta situación es aún más crítica si nos referimos a viviendas ubicadas en climas más severos (Santamouris et al., 2007), áreas sub-tropicales latinoamericanas, que tienen estaciones muy marcadas, sobre todo invierno.

Ahorrar energía en la arquitectura y especialmente en las viviendas sociales existentes, que conforman un alto porcentaje de los crecimientos y expansiones urbanas durante las últimas décadas, es una prioridad hoy en día. El uso de sistemas de calefacción individuales a base de combustibles fósiles como la parafina y la leña es determinante en el grado actual de contaminación urbana y las altas tasas de enfermedades respiratorias estacionales y crónicas (Celis et al., 2007).

Marco teórico

En el contexto de elaborar una propuesta para llevar a la praxis estas soluciones e integrarlas con éxito en los contextos mencionados, se recogen un conjunto de aportaciones y reflexiones llevadas desde tres ámbitos principales que se cruzan, y cuyos aportes se sistematizan para generar un nuevo concepto del sistema de *prótesis bioclimáticas* aquí propuesto: a) la arquitectura bioclimática y sus técnicas de acondicionamiento pasivo; b) la llamada arquitectura adaptativa y las fachadas dinámicas; c) teorizaciones que facilitan la integración y el entendimiento de saberes/prácticas de las personas y sus actos a escala doméstica. En este caso se recogen tres referentes importantes de experiencias ligadas al diseño a mediana y pequeña escala, como el llamado lenguaje de patrones (Alexander & Ishikawa, 1977/1980), la idea de emancipación, recogida desde la filosofía planteada en obras como *Autoproyección* (Mari, 1974) y las prácticas open-source (Open Source Ecology, s.f.).

Este es un sistema que está siendo desarrollado gradualmente y con énfasis en diversos contextos, para permitir posibilidades de mejoramiento de distintas problemáticas asociadas a lo doméstico (permeabilidad, asociatividad, porosidad de fachada, funcionalidad de espacios intermedios, energía, etc.), a las

Figura 1. Diagrama que resume la clasificación de las soluciones bioclimáticas, basado en Watson & Kenneth, 1980 (elaboración propia del Autor principal).

Nota. Primer paso para la selección de los criterios de clasificación de los artículos protésicos, a partir de la identificación de estrategias hipotéticas y practicables de control climático. Esta tabla también se desarrolla de manera más profunda, al analizar en detalle varias variaciones y posibilidades de las estrategias bioclimáticas dentro de estos grandes grupos.

ESTRATEGIAS DE CONTROL DEL CONFORT						
INVIERNO			VERANO			
SOLUCION BIOCLIMÁTICA		SOLUCION BIOCLIMÁTICA		SOLUCION BIOCLIMÁTICA		
EVITAR PERDIDAS		EVITAR GANANCIAS		FAVORECER PERDIDAS		
CONDUCCIÓN	Minimizar el flujo de calor por conducción	Aislamiento	Aislamiento	Favorecer el enfriamiento mediante contacto con el terreno	Potencial de la tierra como intercambiador de calor	
		Crear espacio entre elementos / Rotura de puentes térmicos	Espacios entre elementos / Roturas de conducción y puentes térmicos			
		Tratamiento de la superficie en pared interior	Tratamiento de la superficie en pared interior			
		Fachada ventiladas	Fachada ventiladas			
CONVECCIÓN	Minimizar flujo de aire desde el exterior	Espacios transicionales	Minimizar infiltraciones	Promover ventilación	Chimenea Solar	
	Minimizar infiltraciones	Eslanqueidad / Juntas y sellos	Chimenea solar vidriada		Aperturas	
					Torre de viento	
				Ventilación Nocturna		
FAVORECER GANANCIAS						
RADIACIÓN	Favorecer las ganancias solares	Ganancias Directas	Minimizar ganancias solares	Promover refrigeración radiante	Re irradiación nocturna a cielo abierto	
		Ganancias Semi-directas	Dispositivos de sombreado		Refrigeración radiante	
		Ganancia indirecta con almacenamiento de calor	Favorecer ganancias solares		Ganancias Directas (heliodomesticos)	
EVAPORACIÓN / CONDENSACIÓN				Favorecer refrigeración evaporativa	Refrigeración evaporativa	

fachadas y sus funcionalidades, y a los espacios intermedios; y para hacerlos más habitables, adaptativos y eficientes, y otorgarles distintas características que no estaban originalmente en el cuerpo o vivienda. Hablamos de soluciones bioclimáticas y soluciones pasivas modulares que, dados múltiples diagnósticos (Gonzalez-Caceres et al., 2019), hoy son muy necesarias en la vivienda social para mejorar las oportunidades y flexibilidad que tienen los propietarios de automejorar y manejar a voluntad la respuesta ambiental de sus viviendas.

Arquitectura bioclimática

Las estrategias bioclimáticas son, o deberían ser, parte de toda arquitectura. La adaptación y protección de los factores climáticos son parte de la base del diseño arquitectónico y son necesarios para participar en las primeras etapas de diseño, para generar la forma arquitectónica (Vieira, 2010), (Pawlyn, 2011). Yendo más allá, el diseño adaptativo y la resiliencia forman hoy parte del discurso de propuesta de una arquitectura para el cambio climático y el nuevo contexto de crisis ambiental. Es necesario calibrar estas ideas, sobre todo bajo el concepto de adaptación (Vincent, 2001), para situarla precisamente en un contexto socio-económico específico. Teóricamente, según lo establecido por Serra & Coch (1995), existen tres tipos o familias principales de estrategias bioclimáticas: las medidas de retención de la energía (aislamientos, sellos, etc.); las técnicas conectoras, o soluciones bioclimáticas de segunda generación; y las denominadas *técnicas estabilizadoras* o soluciones bioclimáticas de tercera generación. Las dos últimas estrategias en combinación pueden llegar a integrar una serie de soluciones pasivas que una vez superada la rehabilitación de envoltente, pueden llegar a generar sistemas de calefacción con energía solar (muros Trombe, invernaderos, galerías solares, etc.).

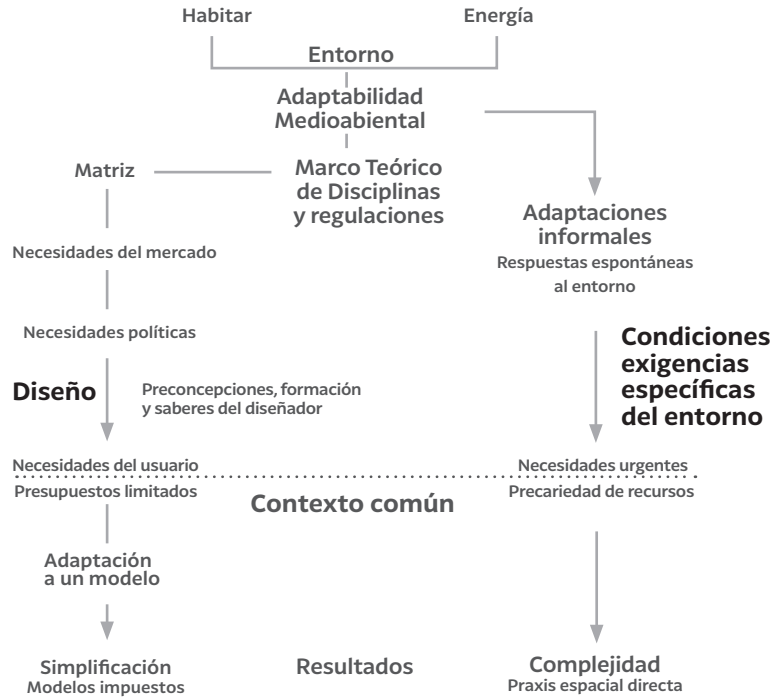
La rehabilitación bioclimática, por su parte, busca integrar estas tres estrategias en combinación para adecuar una vivienda que no funciona bien integrada a su microclima, para optimizarla y adaptarla a cambios estacionales, y con ello reducir sus demandas energéticas. Los tipos de elementos a considerar se pueden clasificar en estas familias de estrategias agrupadas bajo el prisma de los mecanismos de transferencia de calor (Agurto, 2016).

La arquitectura bioclimática optimiza el diseño de la envolvente o piel del edificio, tratando de integrar las tres familias de estrategias mencionadas, así como sus relaciones energéticas con el entorno circundante. Las pieles también pueden entenderse como conexiones para facilitar los intercambios de aire, energía y humedad adentro/afuera. Desde un punto de vista termodinámico, las mejoras en los aspectos energéticos de un edificio pueden ser apoyadas por diferentes técnicas que modifiquen el comportamiento del edificio (United Nations Development Program [UNDP], 2013). Varias investigaciones apoyan la idea de que la vivienda, y sobre todo la vivienda social ya construida, tiene importantes necesidades funcionales y requerimientos de espacios de transición que deben ser provistos, aunque sea gradual y progresivamente, y que den la posibilidad de ser modificados por el usuario para adaptarlos (Peñaloza, 2012). Esas modificaciones son filtros tridimensionales eficaces que separan y fomentan situaciones de mejoras de la habitabilidad.

Fachadas adaptables y arquitectura adaptativa

Las fachadas adaptables hoy constituyen un campo de estudio en sí mismo, por ser una oportunidad para integrar funcionalidades de diversa índole, sobre todo ligadas a la adaptabilidad al clima y sus fluctuaciones; en menor o mayor grado, se integran tecnologías y enormes recursos en este tipo de soluciones, incorporando la domótica incluso. Se habla de dos conceptos clave: fachadas eficientes y fachadas adaptativas. La primera no necesariamente integra elementos móviles; la adaptabilidad viene sobre todo con la idea de integrar complejidades dadas como respuestas a los cambios del entorno, los ciclos día-noche y las estaciones. El segundo tipo viene a integrar componentes anexos, complejos, cambiantes, que muchas veces se mueven, rotan, abren o cierran (mecánica o manualmente); integran soluciones ligadas a la producción de energía renovable (Quesada et al., 2012; Lai & Hokoi, 2015) o convierten esta adaptabilidad a los ciclos en la clave de la eficiencia energética del edificio (Alonso, 2018; Zhang et al., 2015). De igual manera las estrategias bioclimáticas son determinantes de la solución, adaptándose al contexto y a las soluciones que mejor responden a ese clima (Kambil, 2009; Fernández-González, 2007). Dentro de esa línea se enmarca el proyecto, principalmente. Se han desarrollado dos estudios científicos del comportamiento de uno de estos componentes, integrado a la fachada de una vivienda social (Agurto, Allacker, Fissore, Agurto & De Troyer, 2020; Agurto, Allacker, Fissore, Agurto, De Troyer & Rebolledo, 2020). Nuestra hipótesis de investigación se basa en el análisis de diferentes ejemplos de vivienda social en América Latina con un enfoque específico en Chile. Se comprueba que la mayoría de los proyectos de vivienda en América Latina no consideran intervenciones en el espacio de transición.

Figura 2. Influencia ambiental en la política de vivienda social y en adaptaciones informales (Agurto, 2016).



Sin duda, una fuerte influencia y referente en este trabajo, lo constituyen las modificaciones y adaptaciones que los propios usuarios realizan en las viviendas que se les han entregado. Esto nos muestra un enorme repertorio de posibilidades dado por adaptaciones informales (ver la sección Resultados).

Patrones y Autoproyección

La comprensión de la función dual de los espacios transicionales es fundamental. Lo dicho en los puntos anteriores apuntaba directamente a su lectura como determinantes de las demandas de confort y energía de estos espacios. En ésta faceta se les reconoce también como un campo dinámico y ajustable, con un enorme potencial para aumentar el grado de *porosidad* y complejidad de la frontera socio-espacial, lo que implica que en ellos se reconoce la complejidad de usos y funcionalidades como posibles extensiones del espacio doméstico (Kapstein, 1988) hacia el espacio público, creando una transición mucho más rica y adaptada. Una importante guía metodológica para entender estos espacios y sus posibilidades, la constituye la idea del *patrón* sentada por Alexander en una serie de textos seminales para el entendimiento del diseño orientado a objetos, donde realiza un traspaso de los programas/funciones a actos/patrones catalogables, en una taxonomía de elementos que, por la forma en que éste autor los plantea, pueden ser considerados como objetos o soluciones atemporales, entendidos como un lenguaje universal de funcionalidades autocontenidas y listas para ser utilizadas (Alexander, 1979). “Necesitamos un tipo de sistema de construcción nuevo, más sutil, que no se limite a generar edificios, sino que genere edificios con garantías de funcionamiento como sistemas *holísticos* en el sentido social y humano” (Alexander, 1971, pg. 153). De hecho, la idea del *lenguaje de patrones* es definido por Alexander & Ishikawa (1977) como un sistema *combinatorial* de soluciones compartibles. Este sistema y su combinatoria y evolución,

creará un lenguaje de patrones, que a la vez construye un marco natural para el aprendizaje y la investigación, por medio de la evolución de estos patrones individuales y el proceso de combinación de estos.

Como contrapunto a lo planteado, cabe mencionar que es importante comprender el contexto comercial de los materiales y los procesos constructivos adecuados al contexto en el momento de diseñar estas interfaces, donde el usuario ya no sea considerado un consumidor pasivo, sino que se convierta en un usuario de un objeto y un proceso en el que participa de manera activa mediante la autogestión de la construcción y mantención, fomentando la emancipación de la dependencia que ofrecen los objetos tradicionales.

Si bien el enfoque del proyecto es cercano a áreas como el codiseño o el diseño centrado en el usuario, más bien se trata de un proyecto que toma como referencia e inspiración diferentes corrientes de proyectos de código abierto. Un referente es el trabajo desarrollado por el diseñador y artista italiano Enzo Mari (1974) y la lógica que plantea en su libro *Proposta per una autoprogettazione*: “Un proyecto para realizar muebles con montajes simples, usando clavos y tabloncillos sin pulir. Una técnica elemental para que cualquiera pueda desarrollar la propia capacidad crítica ante la producción actual” (pg. 19).

En ese texto se ofrece una serie de planos e instrucciones que permiten que el usuario se involucre en la construcción de sus propios muebles, bajo una temprana idea de código abierto, de unos diseños muy justos en lo que refiere a función y tecnología pero que propicia la calidad a través de un profundo y delicado trabajo de diseño que se transfiere mediante una guía detallada.

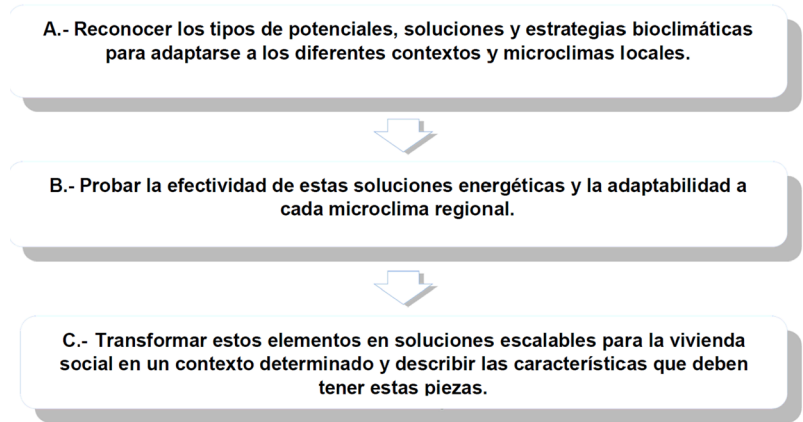
El proyecto busca ofrecer una serie de manuales detallados para la autoconstrucción de adaptaciones espaciales en los espacios transicionales, que facilite una construcción prefabricada, simple, robusta y de calidad gracias a un diseño *justo* que considere los materiales y técnicas al alcance de los propios habitantes y que aporte e integre mejoras energéticas a la vivienda gracias a estrategias bioclimáticas transformadas en adaptaciones que serán abordadas por diferentes estudios a través de esta investigación colectiva y multidisciplinar. La inspiración de crear una plataforma llamada *protesisbioclimaticas.cl*, es influenciada por lo propuesto en la misión del colectivo Open Source Ecology (s.f.b.).

Cabe mencionar que estos requisitos y adaptaciones siempre conllevan tiempo y constituyen un proceso gradual de transformación y apropiación por parte del usuario, procesos de incorporación gradual de las tecnologías, mencionados por E.F. Schumacher (1973/2011) que, sobre todo, nos habla de una cierta tecnología a una escala apropiada al ser humano y en la que actúan mediante diversos mecanismos, por suma o resta de elementos, y que no tiene límites precisos dentro-fuera o abierto-cerrado (Hall, 1966).

Hipótesis

Reconocemos el papel determinante de la capa espacial transicional, en primer lugar, como vínculo entre el habitante, las funciones de refugio y la realidad social de la vida exterior, y al mismo tiempo, como un filtro flexible de adaptación ambiental que valdría la pena controlar conscientemente. A

Figura 3. Los tres pasos básicos en una hoja de ruta para comenzar a definir esta metodología de investigación (Agurto, 2016)



partir de estos hechos, se deben rescatar y valorar dos nociones importantes para desarrollar una estrategia acertada de reacondicionamiento energético en contextos de vulnerabilidad: la noción de patrón, esencialmente como una idea de un diseño reutilizable para ciertos contextos, y la idea de personalización incremental de la vivienda. En consecuencia, desarrollamos las siguientes hipótesis.

1. La escala de intervención en los espacios de transición y su integración y ajuste merece ser entendida en sí misma como una importante estrategia de adaptación, dado su potencial adaptativo mediante autoconstrucción. Además, es necesario reconocer y comprender la importancia y las características de estos patrones espontáneos para extraer pautas de diseño.
2. Es posible, transformar complejas estrategias adaptativas, como las bioclimáticas, en simples componentes prefabricados simples y fácilmente replicables.

Metodología

El razonamiento de la hoja de ruta comienza reconociendo posibilidades y estrategias para el contexto microclimático, tipologizando y clasificando estrategias para las posibilidades locales (ver Figura 3). Inicialmente, la investigación clasifica y ordena estos tipos de espacios intermedios locales y autoconstruidos. En segundo lugar, medir la influencia de estas soluciones bioclimáticas espontáneas sobre el comportamiento térmico es muy importante para clasificar las soluciones más efectivas. Un prerrequisito necesario para llevar a cabo esta ordenada distribución de soluciones es la catalogación de un número suficiente de elementos individuales, lo que permite encontrar unos patrones comunes y agruparlos para aclarar su uso y, posteriormente, ampliar sus propiedades. En tercer lugar, la necesidad de un sistema generador que desarrolle una lógica necesaria para componentes adaptables y combinables y, posteriormente, crear una base de datos de código abierto con detalles constructivos para soluciones asequibles: componentes de bajo coste y rendimiento optimizado, que permitan una fácil fabricación e (idealmente) autoconstrucción e instalación de estas soluciones.

La metodología de investigación adoptada para este estudio incluye seis pasos básicos para el proceso. A partir de estas reflexiones, podríamos proponer diferentes pasos para desarrollar este concepto de diseño. El principal desafío de este trabajo es la inserción de estos criterios en un contexto específico, siguiendo la realidad de cada región. La metodología se rige de la siguiente manera:

1. Escala de desempeño en los espacios contiguos a la vivienda, cubriendo todo como una unidad, con importancia en la habitabilidad. Establecer una definición de escala que identifique los espacios de transición necesarios, tanto para funciones sociales como energéticas.
2. Reconocer los tipos de potenciales soluciones y estrategias bioclimáticas para adaptarse a los diferentes contextos locales y microclimas (Turégano et al., 2009).
3. Establecer y adaptar estas soluciones como sistema de rehabilitación de viviendas sociales, transformándolas en un repertorio de prefabricados adecuados para añadir a la envolvente.
4. Criterios para clasificar un conjunto de soluciones, tanto bioclimáticas como de espacialidad intermedia. Desarrollar una taxonomía de estas diferentes tipologías protésicas para catalogar estos componentes, tanto bioclimáticos como de espacialidad intermedia, para crear un sistema organizado por sus principales funciones y características.
5. Probar la efectividad de adaptar estas soluciones a diferentes contextos, simulando los rendimientos energéticos y el potencial de ahorro energético de la prótesis para cada microclima regional.
6. En base a resultados, ordenar y clasificar una gran cantidad de soluciones en una especie de tabla periódica de estos elementos, desarrollando una herramienta de software que tiene esta clasificación, facilitando el proceso de diseño a arquitectos, diseñadores e ingenieros.
7. Proponer un gráfico de entrada que considera patrones espaciales y bioclimáticos y parámetros climáticos.
8. Transformar estos elementos en soluciones adecuadas, con un enfoque desde el diseño a autoconstrucción, la calidad y la coherencia material, para la vivienda social en un contexto dado. Configurar las características que deben tener estas partes (se propone cierta modularidad).

9

Resultados

Un punto importante para comenzar, y para una mayor comprensión de la escala intersticial de estos espacios transicionales, es comprender las adaptaciones que hacen los habitantes de sus propias casas de manera espontánea, y tratar de resolver diferentes problemáticas y motivaciones; especialmente, la falta de adaptación de estos prototipos de viviendas a los contextos climáticos, estrés térmico y enormes pérdidas de energía, habitabilidad de baja calidad, escasez de espacio.

El análisis se centra en los casos extraídos principalmente de valles costeros e interiores de la Región del Biobío en Chile, tomando casos particulares de varias ciudades representativas. Se elaboró una taxonomía siguiendo diferentes criterios bioclimáticos en función de los cuales el factor principal fue la motivación de la respuesta espontánea.

SOL					
Nombre >					
Ubicación	Ciudad Costera	Ciudad Costera	Valle Central	Valle Central	Valle Central
Provincia	Arauco	Arauco	Ñuble	Ñuble	Ñuble
Ciudad	Arauco	Arauco	Coihueco	Coihueco	Chillán
Vecindario		Población Villa El Mirador			Población Nevados de Shangrilá III
Fecha construcción	No determinada	2012	No determinada	No determinada	2010
Descripción	Una galería solar participa y adapta el espacio exterior en la fachada norte.	Invernadero adosado en la fachada norte.	Integración de elementos naturales en la fachada norte. Estructura de madera y leve intervención.	Fachada norte. La estructura y la intervención muy leves.	Bloqueo de la radiación con un dispositivo temporal y de sombreado vertical.
Problema específico a resolver	Crear un espacio de transición en la entrada. Efecto invernadero y pequeñas cantidades de calefacción en un espacio bien orientado.	Desarrollar un captador solar con material transparente (policarbonato)	Crear un umbral antes del acceso y un espacio para la permanencia en verano.	No es una ventana protegida. Sobrecalentamiento en verano a través de la ventana orientada al norte.	Radiación directa sobre la fachada principal durante la mañana y parte de la tarde, provocando sobrecalentamiento en el interior.

10








LLUVIA					
Nombre >					
Ubicación	Ciudad Costera	Ciudad Costera	Valle Central	Valle Central	Valle Central
Provincia	Concepción	Concepción	Ñuble	Ñuble	Ñuble
Ciudad	Hualqui	Lota	Chillán	Chillán	Chillán
Vecindario	Villa Rucalhue, al norte de Hualqui	Villa El Edén, Barrio El Roble	Villa Monterrico, Etapa 2, calle Esmeralda.	Población Nevados de Shangrilá III	Población Nevados de Shangrilá III
Fecha construcción	2013	2012	No determinada	2013	2013
Descripción	Creación de un espacio exterior/interior para proteger de las condiciones climáticas, especialmente la lluvia.	Espacio semicubierto en la entrada para bloquear el agua de lluvia.	Fachada principal orientada al norte. Adyacencia lateral a la casa existente. Estructura de madera y hierro.	Pequeño techo para dar algo de protección a la puerta, especialmente cuando llueve en días de viento.	Cubierta exterior que cubre toda la fachada principal de la casa hasta el portón de entrada, para bloquear la radiación directa en verano y las lluvias en invierno.
Problema específico a resolver	La necesidad de tener un espacio previo o espacio intermedio interior/exterior antes de entrar, alguna protección contra la lluvia.	Solucionar la infiltración de lluvia debajo de la puerta.	Espacio para proteger el patio y perchero. Genera espacios oscuros.	Urgente necesidad de detener el agua de lluvia directa que se filtra por la puerta.	Filtración de agua de lluvia por la puerta de acceso y ausencia de espacio para guardar el automóvil.

Tabla 1. Catastro resultado del trabajo de campo (Proyecto Prótesis, 2015-2016)

VIENTO						
	Nombre >	Chiflonera I	Chiflonera II	Chiflonera III	Chiflonera IV	Chiflonera V
	Ubicación	Ciudad Costera	Ciudad Costera	Ciudad Costera	Ciudad Costera	Ciudad Costera
	Provincia	Concepción	Concepción	Concepción	Concepción	Concepción
	Ciudad	Lota	Lota	Lota	Lota	Lota
	Vecindario	Villa El Edén	Villa El Edén	El Roble, sector suroeste	Villa El Edén	Villa El Edén
Descripción	Fachada norte. Una chiflonera es uno de los elementos perimetrales adosados que destacan en la autoconstrucción.	Fachada noreste. Otro tipo de chiflonera, basada en otro tipo de materiales, transparencia y configuración.	Protección de acceso orientada al norte. Madera 2x2, estructura y cubierta con tablas de madera.	Se observaron varios casos de este tipo de elemento chiflonera como un concepto adaptativo con variaciones según usuarios.	Fachada noreste. Se analizaron más de 30 casos de chifloneras en ésta área.	
Problema específico a resolver	Busca preservar la estabilidad del clima interior, evitando el impacto directo del viento y, en consecuencia, la infiltración de aire.				Según los diferentes grados de configuración, la protección contra el viento en diferentes fachadas es importante, especialmente en esta ventosa ciudad costera.	

FALTA DE ESPACIO						
	Nombre >	Extensión lateral adaptada para un almacén, desplazando el acceso a la vivienda	Extensión lateral adaptada para un almacén, desplazando el acceso a la vivienda	Alteración de fachada	Balcón con cubierta transparente	Extensión multifuncional, crecimiento lateral, espacio quincho, espera, estar exterior
	Ubicación	Valle Central	Valle Central	Valle Central	Ciudad Costera	Ciudad Costera
	Provincia	Concepción	Concepción	Ñuble	Ñuble	Ñuble
	Ciudad	Chillán	Chillán	Chillán	Tomé	Tomé
	Vecindario	Villa Monterrico, Etapa 2, calle Esmeralda. Fachada principal orientada al norte.	Villa Monterrico, Etapa 2, calle Esmeralda. Fachada principal orientada al norte.	Villa Monterrico, Etapa 2, calle Pallachata. Fachada principal orientada al norte.	Cerro Navidad, Villa Nueva Cocholgüe, calle Juan Esteban Montero.	Cerro Estanque, Villa Aposento Alto. Calle Sol Naciente. Orientada al norte.
Descripción	Ampliación de fachada lateral en el segundo piso. Deja un espacio cubierto en planta baja. Estructura de madera.	Aprovechamiento del espacio lateral para una nueva tienda y para cambiar la entrada principal. Estructura de madera.	Extender o estirar la forma original, deformando la geometría sin producir una clara separación entremedio (también podría considerarse una forma de intervención).	Paredes de madera y piezas de madera de pino impregnadas. Orientación sureste. Estructura de hierro.	Paredes de madera y piezas de madera de pino impregnada de 2x3 impregnadas. Estructura de hierro. Reciclaje de pallets. En el techo, Zincalcum. Adaptación da al Noroeste	
Problema específico a resolver	Agregar área exterior para la casa, considerando especialmente el espacio para dormitorios nuevos.	Necesidad de un espacio para instalar una pequeña tienda de abarrotes a escala de barrio.	Estancia, jardinera, pequeña terraza.	Falta de un espacio protegido para el automóvil.	Necesidad de diferentes espacios, dando multifuncionalidad, también protección contra el viento del mar.	

Nota. Todos los casos presentados fueron analizados durante el año 2015, como parte del proyecto de prótesis bioclimática.

Las características climáticas de la zona influyen fuertemente en el desarrollo de esta respuesta espontánea a la arquitectura oficial en el Biobío. Esta situación genera ciertos patrones del medio ambiente climático, que son los que condicionan las características del uso de los espacios, sumado al acceso a los recursos, que sin duda definen la materialidad. El trabajo de campo reveló que las experiencias de intervención autoadaptativa sobre la vivienda se reflejan en cuatro aspectos que de una forma u otra intervienen en el modo de adaptación en el hogar:

1. El tipo de material con el que se realizarán las adaptaciones.
2. El grado de *empatía* entre el diseño de la vivienda y los vecinos
3. La necesidad de adecuar la vivienda a las condiciones climáticas.
4. La necesidad de adecuar el hogar a las necesidades y personalizarlo.

Estos aspectos permiten entender la escala de lo que se hace; implica tamaños, materiales, y espacios disponibles. También refleja cómo los habitantes, a pesar de no tener muchas veces formación en construcción, realizan estas modificaciones de una forma u otra, inicialmente de forma provisional, que con el tiempo se modifican y adquieren el carácter de *adaptación progresiva*.

Discusión

Normalmente, la prótesis repara o reemplaza una función que el cuerpo ya no puede realizar adecuadamente, completando el cuerpo necesario con una función complementaria específica (Pizarro, 2012). De manera similar, las funciones naturales de un edificio pueden requerir la introducción de elementos extraños para resolver una variedad de problemas, incluidos los relacionados con la energía.

La definición de *prótesis* es:

1. Med. Una parte del cuerpo artificial, como un brazo, pie o diente, que reemplaza una parte faltante.
2. Extensión artificial que reemplaza o proporciona una parte del cuerpo faltante por varias razones.
3. Aparato o dispositivo para esta reparación. (Real Academia Española [RAE], 2014, Ed. online)

Por tanto, se consideran e integran una variedad de componentes que realizan una amplia gama de funciones que la vivienda existente no tiene, de ahí el nombre *prótesis*. Esto se logra al agregar componentes para colectores solares, almacenamiento de energía, iluminación y diferentes elementos pasivos de arquitectura reconfigurable. Al hacerlo, logramos una mayor adaptabilidad y ahorros de eficiencia energética notables y pasivos de alto valor añadido en su diseño (sin el consumo de electricidad ni ninguna energía), aprovechando la energía solar, las condiciones ambientales y el microclima de cada sitio de implantación.

Este trabajo busca, a partir del concepto evolutivo de vivienda, una aproximación incremental a la rehabilitación energética de ésta, sintetizando y adaptando componentes bioclimáticos, que serán gradualmente integrados a ella. Son elementos autónomos sumables y reconfigurables en edificios, que conforman soluciones autónomas o soluciones *protésicas* orientadas a diferentes necesidades o patrones de energía bien definidos.



Figura 4. Uso modular y progresivo de componentes de inserción, y combinación de dos tipos de prótesis; por un lado la caja y por otro el triángulo de luz y calor insertos en volumen genérico de control. (Agurto, 2016).

Esta metodología busca acercar las soluciones tipológicas o patrones energéticos que serán el punto de partida para articular diferentes conceptos en la configuración de una filosofía de diseño arquitectónico que concreten la idea de sustentabilidad a la microescala del diseño.

Conclusiones

El concepto de equidad debe extenderse a tecnologías de hábitat que brinden comodidad y faciliten la adaptación a una variedad de entornos y condiciones climáticas. Estamos creando una especie de *sistema periódico* de elementos bioclimáticos portátiles que serán distribuidos a través de una plataforma virtual para construir soluciones de código abierto.

El trabajo mostró la fase más representativa, la prótesis arquitectónica, para generar una base de información compartida que contenga planos y donde todos puedan contribuir, configurando una red temática cuyos focos son la autoconstrucción (Agurto, 2002), la vivienda progresiva y el ahorro energético.

Para configurar todas estas soluciones y componentes se establecen las reglas de operación del sistema y sus atributos. En general, podemos establecer una primera clasificación de los elementos que componen el sistema, como una combinación de tres grupos básicos o familias de elementos.

1. Elementos portantes para la extensión virtual del espacio interior hacia el exterior (y viceversa).
2. Elementos con predominancia de proporción 2D: objetos planos de diferentes composiciones, dimensiones y funciones, por ejemplo, sombreados y fachadas ventiladas.
3. Elementos 3D, componentes volumétricos y características espaciales con diferentes funciones: soluciones solares pasivas, espacios, fachadas ventiladas, ventilación cruzada y refrigeración nocturna, masa térmica, entre otros.

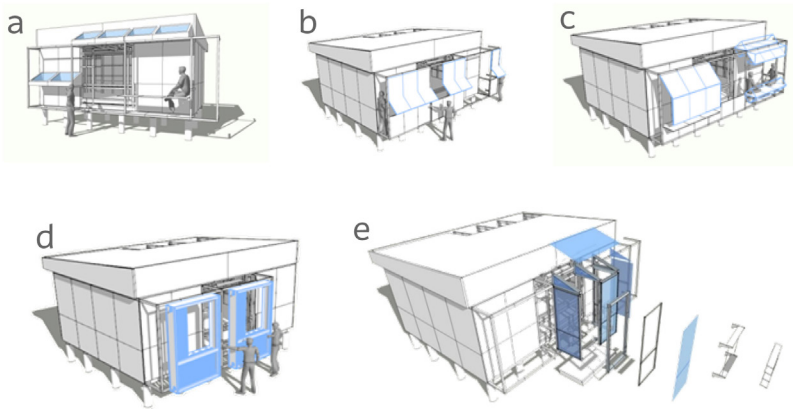
Por sus características, estos elementos de pequeña escala serían perfectamente producidos en lugares microindustrializados y adquiridos de forma asequible, en contextos de escasez y también de rehabilitación, con todos los estándares para viviendas unifamiliares nuevas o existentes. Estableciendo una definición más precisa de los elementos de forma que denominaremos *prótesis bioclimática*, identificamos determinadas características generales tanto de escala como de funcionalidad:

1. Compatibilidad selectiva: la existencia de un *formato* común para todos los elementos, en tipos de juntas y en conformación portátil.
2. Algunos elementos agregan estrategias de control del clima para responder a la lógica de la arquitectura bioclimática y solar, y también a las funciones o patrones espaciales. Por lo tanto, resuelven un conflicto de diseño a nivel espacial.

Figura 5. Diferentes posibilidades del sistema de elementos adaptativos que podrían reorganizarse, creando un marco para *plug and play*, características reconfigurables y modulares.

Nota. La figura muestra:

- a) secadores y hornos solares;
- b) sistemas de sombra;
- c) espacios de permanencia y galerías;
- d) Muros Trombe, espacios búfer;
- e) Otros sistemas solares como hornos e invernaderos.



3. Modularidad: los componentes, conjuntos y unidades de potencia son intercambiables.
4. Reparable y montable por el usuario: el diseño de montaje permite al usuario desmontar, mantener y reparar herramientas fácilmente, sin necesidad de costosos técnicos de reparación.
5. Mecanismos de forma y salida mediante un ciclo de fabricación cerrado: la presencia de materiales reciclados.
6. (Pre)Fabricación flexible: el uso flexible con maquinaria genérica en una escala de producción adecuada es una alternativa viable para la producción descentralizada. Hoy, la fácil creación de prototipos sugiere que este tipo de arquitectura de componentes tiene un potencial, permitiendo así a sus usuarios la realización de sus necesidades.
7. La concepción original de estos componentes se encuentra bajo una lógica constructiva de bajo costo.

La integración de estas nuevas partes está relacionada sobre todo con funcionalidades adicionales y complementarias, por ejemplo: fachadas que integran la vegetación, elementos de generación y almacenamiento de energía, instalaciones para el reciclaje de aguas pluviales, y otras instalaciones anexas en función de la climatología, que se sumen progresivamente (Agurto, 2002) a la vivienda, para formar parte de sistemas colectivos. Esta sería la segunda función principal de estas prótesis.

Este trabajo puede considerarse un aporte en dos niveles principales. Primero, la creación de una metodología que traduce soluciones bioclimáticas robustas y en ocasiones pesadas y/o costosas en componentes y elementos portátiles y de bajo costo. Crea nuevas formas de integrar todo este conocimiento bioclimático para que sea accesible y conocido por todos, especialmente para el arquitecto, pero también para el público en general, para generar un redescubrimiento de estas tecnologías.

En segundo lugar, el potencial de diseño de estos elementos y su tipologización es enorme, debido a la utilidad práctica de esta estrategia de recolección para la difusión del conocimiento y el uso de estas tecnologías.

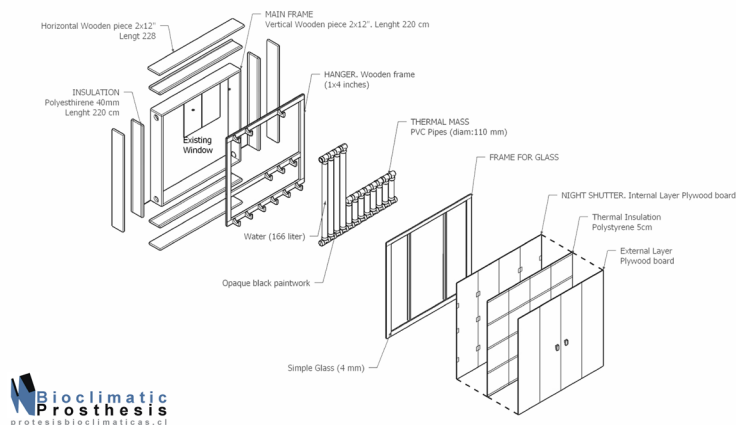


Figura 6. Manual de prótesis bioclimática 01 (proyecto prótesis bioclimáticas, desarrollado por los autores)

El potencial de una base de datos de estas tecnologías es tremendo, porque es posible profundizar en la lógica cálculo-componente-software y generar un asistente de diseño bioclimático. Esta herramienta digital podría simular virtualmente, y en base a resultados conocidos y establecidos, el desempeño de estos componentes para diferentes microclimas locales. Es muy interesante la proyección que puedan llegar a tener estos manuales como elementos compartidos, que circulan y se mejoran en el contexto de una comunidad digital transversal, más allá de instituciones de educación superior o técnica, países o profesiones. Dado el rápido desarrollo de las impresoras 3D y los componentes de campo del prototipado rápido, próximamente se lanzará en internet el proyecto de prótesis, un sitio donde se pueda conocer el progreso del proyecto, descargar manuales y potenciar esta red colaborativa para desarrollar y probar estos elementos en varios entornos de vivienda social en América Latina

References

- Agurto, L. (2002). Aproximación al Proceso de Apropiación del Espacio Colectivo en Asentamientos Espontáneos de Concepción. Tesis financiada por el programa Tesis de Interés regional, FNDR Región del Bio bio. Chile.
- Agurto, L. (2016). *Micro urbanismo bioclimático: el espacio intermedio y sus posibilidades de apropiación y adaptabilidad medioambiental como factor determinante en el habitar colectivo. Tácticas de adaptabilidad ambiental para la definición de una escala intermedia de diseño para la vivienda* [Tesis doctoral sin publicar]. Universidad de Zaragoza.
- Agurto, L., Allacker, K., Fissore, A., Agurto, C. & De Troyer, F. (2020). Design and experimental study of a low-cost prefab Trombe wall to improve indoor temperatures in social housing in the Biobío region in Chile. *Solar Energy*, 198, 704-721. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.003>
- Agurto, L., Allacker, K., Fissore, A., Agurto, C., De Troyer, F. & Rebolledo, B. (2020). Bioclimatic Prosthesis: Experimental dataset for a low-cost Trombe wall to existing social housing refurbishment for an intermediate valley (Chillán) city in the south of Chile. *Data in Brief*, 30, 105547. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105547>
- 16 Alexander, C. y Poyner, B. (1967). *The Atoms of Environmental Structure* [La estructura del medio ambiente] (Ministry of Public Building and Works; 1st ed.). Oxford University Press.
- Alexander, C. (1979). *The Timeless Way of Building* [El modo intemporal de construir]. Oxford University Press.
- Alexander, C., Ishikawa, S. & Silverstein, M. (1980). *Un lenguaje de patrones (Justo Beramendi, Traducción)*. Editorial. (Obra original publicada en Inglés en 1977)
- Alonso, C., Oteiza, I., García Navarro, J. (2011). Environmental analysis of residential building facades through energy consumption, GHG emissions and costs. Conferencia: SB11 World Sustainable Building. Helsinki.
- Baker, J. (2012). *Climate Change, Disaster Risk, and the Urban Poor: Cities Building Resilience for a Changing World*. World Bank.
- Braubach, M. & Ferrand, A. (2013). Energy efficiency, housing, equity and health. *International Journal of Public Health*, 58, 331-332. doi:10.1007/s00038-012-0441-2
- Celis, J., Morales, J. & Zaror, C. (2007). Contaminación del aire atmosférico por material particulado en una ciudad intermedia: el caso de Chillán, Chile. *Información Tecnológica*, 18(3), 49-58.
- Cámara Colombiana de la Construcción. (2011). La vivienda social en América Latina: una revisión de políticas para atender las necesidades habitacionales de la región. *Informe Económico*, 30.
- Evans, J. M. (2007). *The comfort triangles: a new tool for bioclimatic design* [Tesis doctoral publicada]. Delft University of Technology. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:5a12f90e-2e07-4ba7-b21f-1da81c5c523a?collection=research>
- Fernández-González, A. (2007). Analysis of the thermal performance and comfort conditions produced by five different passive solar heating strategies in the United States midwest. *Solar Energy*, 81, 581-593. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.09.010>
- Giancola, E., Soutullo, S., Olmedo, R. & Heras, M.R. (2014). Evaluating rehabilitation of the social housing envelope: Experimental assessment of thermal indoor improvements during actual operating conditions in dry hot climate, a case study. *Energy and Buildings*, 75, 264-271. doi:10.1016/j.enbuild.2014.02.010
- Gonzalez-Caceres, A., Bobadilla, A. & Karlshøj, J. (2019). Implementing post-occupancy evaluation in social housing complemented with BIM: A case study in Chile. *Building and Environment*, 158(May), 260-280. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.05.019>
- Guerra Ramírez, J. (2003). *Habitar el desierto. Transición energética y transformación del proyecto habitacional colectivo en la ecología del desierto de Atacama, Chile* [Tesis doctoral publicada]. Universidad Politécnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93424>
- Hall, E. (1966). *The Hidden Dimension*. Garden City, N.Y., Doubleday,
- International Renewable ENergy Agency [IRENA]. (2016). *Renewable Energy Market Analysis: Latin America*.
- Kambil, J.P. (2009). *A Study on Reducing Heat Gains through the use of Bio-Climatic Facades* [Disertación de Maestría sin publicar]. The British University in Dubai.
- Kapstein, G. (1988). *Espacios Intermedios: respuesta arquitectónica al medio ambiente* (2ª ed.). Editorial ARQ.
- Klak, T. (1993). Contextualizing State Housing Programs in Latin America: Evidence from Leading Housing Agencies in Brazil, Ecuador, and Jamaica. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 25(5), 653-676. <https://doi.org/10.1068/a250653>
- Lai, C.M. & Hokoi, S. (2015). Solar façades: A review. *Building and Environment*, 91, 152-165. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.01.007>

- Longhurst, N. & Hargreaves, T. (2019). Emotions and fuel poverty: The lived experience of social housing tenants in the United Kingdom. *Energy Research & Social Science*, 56, 101207. doi:10.1016/j.erss.2019.05.017
- Lopez de Asíaín, J. (2010). La habitabilidad de la arquitectura. El caso de la vivienda. *Revista DEARQ*, 6, 100-107. <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.18389/dearq6.2010.10>
- Mari, E. (1974). *Proposta per una autoprogettazione*. Corraini Edizioni.
- Open Source Ecology. (s.f.b.). *Marcin Jakubowski, Open-sourced Blueprints for Civilization*. <https://www.opensourceecology.org/>
- Pawlyn, M. (2011). *Biomimicry in Architecture*. RIBA Publishing.
- Peñalosa Monares, P. (2012). *La adaptabilidad tipológica y constructiva de la vivienda, realizada por el usuario en el desarrollo sistemático de la vivienda social progresiva* [Tesis doctoral publicada]. Universidad Politécnica de Catalunya. <https://www.tesisenred.net/handle/10803/85417>
- Pizarro, E. (2012). *Domestic prostheses* [Edición digital del catálogo de exhibición]. Metalocus. <https://www.metalocus.es/en/news/domestic-prosthesis>
- Proyecto Prótesis Bioclimáticas, (2016) <https://www.protesisbioclimaticas.cl>. Página web de un proyecto Research by Design. Innova Bio Bio. Concepción.
- Quesada, G., Rouse, D., Dutil, Y., Badache, M. & Hallé, S. (2012). A comprehensive review of solar facades. Transparent and translucent solar facades. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2643-2651. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.059>
- Rapoport, Amos. (1977). Aspectos humanos de la forma urbana: Hacia una confrontación de las ciencias sociales con el diseño de la forma urbana. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.
- Real Academia Española [RAE]. (2014). Prótesis. En *Diccionario de la lengua española* (23ª ed.). <https://dle.rae.es/pr%C3%B3tesis>
- Sansão Fontes, A. & Couri Fabião, A. (2016). Além do público-privado: intervenções temporárias e criação de espaços coletivos no Rio de Janeiro. *Revista de Arquitetura*, 18(2), 27-39.
- Santamouris, M., Kapsis, K., Korres, D., Livada, I., Pavlou, C. & Assimakopoulos, M. (2007). On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector. *Energy and Buildings*, 39(8), 893-905. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.11.001>
- Schumacher, E.F. (2011). *Lo pequeño es hermoso* (Óscar Margenet, Trad.). Ediciones Akal. (Obra original publicada en 1973)
- Serra, R. & Coch, H. (1995). *Arquitectura y Energía Natural*. Ediciones de la Universidad Politécnica de Catalunya.
- Tornero, J., Pérez Cueva, A. & Gómez Lopera, F. (2006). Ciudad y confort ambiental: estado de la cuestión y aportaciones recientes. *Cuaderno de Geografía*, 80, 147-182.
- Turégano, J.A., Velasco, M.C. & Martínez, A. (Eds.). (2009). *Arquitectura bioclimática y urbanismo sostenible (Volumen I)*. Pressas de la Universidad de Zaragoza.
- United Nations Development Program. (2013). *Human Development Report 2013. The Rise of the South: Human Progress in a Diverse World*. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2294673
- Vieira, G. (2010). *Sombras profundas, dimensión estética y repercusión ambiental del diseño de la varanda* [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. (<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93453>)
- Vincent, J.F. (2001). Stealing ideas from Nature. En S. Pellegrino (Ed.), *Deployable Structures* (pp. 51-58). Springer-Verlag Wien.
- Vuarnesson, P. y Atelier 3 Sociedad Civil de Arquitectos (1973). Investigación para un hábitat personalizado en estructuras tradicionales y equipamientos industrializados. Editorial Gustavo Gili. Versión de Santiago Pey Estrany. (Obra original publicada en 1973).
- Watson, D. & Labs, K. (1980). *Diseño climático: principios y prácticas de construcción energéticamente eficientes*. McGraw-Hill.
- World Health Organization [WHO]. (2016). *Public health, environmental and social determinants of health (PHE), Background information on urban outdoor air pollution*. <https://www.who.int/home/cms-decommissioning>
- Zhang, X., Shen, J., Lu, Y., He, W., Xu, P. & Zhao, X. (2015). Active Solar Thermal Facades (ASTFs): From concept, application to research questions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 32-63. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.108>