

**EURO** **elecs**  
**2015**

LATIN AMERICAN AND EUROPEAN CONFERENCE ON  
SUSTAINABLE BUILDINGS AND COMMUNITIES

21-23 July | 2015 | Guimarães | PORTUGAL

**VOL I**

Editors

Luís Bragança

Andrea Naguissa Yuba

Cristina Engel de Alvarez



# EURO-ELECS 2015

## LATIN-AMERICAN AND EUROPEAN CONFERENCE ON SUSTAINABLE BUILDINGS AND COMMUNITIES

Organized by



Partners



**EURO-ELECS 2015**  
**LATIN-AMERICAN AND EUROPEAN CONFERENCE**  
**ON SUSTAINABLE BUILDINGS AND COMMUNITIES**

**Editors**

Luís Bragança  
Andrea Naguissa Yuba  
Cristina Engel de Alvarez

**Assistant Editors**

José Amarilio Barbosa  
Catarina Araújo  
Sara Bragança

© 2015 The authors

All rights reserved. No part of this book may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any mean, without prior written permission from the Publisher.

ISBN 978-989-96543-8-9

Printed by Multicomp

1<sup>st</sup> edition, July 2015

Legal Dep. [365726/13](#)

#### LEGAL NOTICE

The Publisher is not responsible for the use which might be made of the following information.

## Scientific Committee / Comité Científico / Comité Científico

Akemi Ino	Aloísio Leoni Schmid	Andrea Moro
Andrea Naguissa Yuba	Carlos Pina dos Santos	Carlos Torres Formoso
Catarina Brandão Araújo	Charles Kibert	Christian Wetzel
Cristina Engel de Alvarez	Curt Garrigan	Dimitrios Bikas
Dinara Paixão	Dorota Chwieduk	Dóris Kowaltowski
Edna Nico Rodrigues	Eduardo Maldonado	Emilio Mitre
Eneida Maria Souza Mendonça	Ercília Hitomi Hirota	Frank Schultmann
François Baillon	Helena Gervásio	Helenice Sacht
Hipólito de Sousa	Holmer Savastano Junior	Irina Tumini
Joana Bonifácio Andrade	Jorge Patricio	Jorge de Brito
José Amarilio Barbosa	José Neto	João Luis Calmon Gama
Liza Maria Souza de Andrade	Luisa Cabeza	Luís Bragança
Luís Simões da Silva	Manuel Pinheiro	Manuela Almeida
Maria do Carmo Duarte Freitas	Mat Santamouris	Miguel Aloysio Sattler
Márcia Bissoli Dalvi	Mônica Santos Salgado	Nelson Porto Ribeiro
Nils Larsson	Obede Borges Faria	Paulo Vargas
Petr Hajek	Raymond Cole	Ricardo Mateus
Rodolfo Rotondaro	Rodrigo Garcia Alvarado	Ronald Rovers
Said Jalali	Sandra Silva	Sergio Fernando Tavares
Sheyla Mara Baptista Serra	Silva Afonso	Soteris Kalogirou
Sylviane Nibel	Teresa Barbosa	Thomas Luetzkendorf
Tom Woolley	Tove Malmqvist	Vanessa Gomes da Silva
Wim Bakens		

## Contents / Índice / Índice

### Foreword / Prefácio / Prefácio

*Andrea Naguissa, Yuba Cristina Engel, Luis Bragança*

### Volume 1

**Chapter 1: Sustainable design solutions (low cost, reuse, eco efficiency, renovation, retrofitting, urban renovation)**

**Capítulo 1: Soluções de projeto sustentáveis (baixo custo, reutilização, eco eficiência, renovação, regeneração urbana)**

**Capítulo 1: Soluciones de proyectos sostenibles (bajo costo, reutilización, eco-eficiencia, renovación, regeneración urbana)**

How can sustainability assessment systems for urban development support a housing improvement district? 3

*Thomas Lützkendorf*

Embodied energy in green roofing – case study in southern Brazil 7

*Giane Grigoletti, Marcos Pereira*

Construction site processes: sustainable management and participation 15

*Francesca Muzzillo, Antonella Violano, Monica Cannaviello, Fosca Tortorelli, Lucia Melchior*

The connection of open spaces to improve the urban contexts environmental 25

*Raffaella Martino, Rossella Franchino, Caterina Frettoloso*

Resilience Thinking: the next tread of Sustainable Regeneration Strategies? 33

*Duarte Nunes, Ana Tomé, Manuel Pinheiro*

A case study of zero energy building: How to achieve the best performance 43

*Francisco García, María Díaz*

Fuseta's vaulted houses. A Thermal Performance Study 53

*Mafalda Pacheco, Ana Tomé, Maria Gomes*

Methodology for thermal performance resilience assessment of buildings in a changing climate – a case study from Lisbon 63

*Ricardo Barbosa, Rui Santos, Romeu Vicente*

The recovery sustainable urban water systems management and Green Roofs - Widespread conversion of impervious surfaces existing greened surfaces in urban areas 73

*Gioia Clementella, Emanuele Habib, Carlo Cecere*

Contribuição para avaliação da influência da granulometria de agregados reciclados em estruturas de contenção do tipo solo reforçado a partir do ensaio do arrancamento de pequeno porte	531
<i>José Marques, Heloisa Campos, Lígia Real, Talita Soares, Débora Tomaselli, Leonardo Miranda</i>	
Caracterização de Fachadas Duplas Ventiladas como Envolvente de Edifícios	541
<i>Erika Guimarães, Elaine Vazquez, Luís Bragança</i>	
A evolução da janela e sua interferência em ambiente de edificações multifamiliares	551
<i>Edna Nico-Rodrigues, Cristina Alvarez, Maria Piderit, Artur Rodrigues</i>	
Materiais de isolamento térmico de edifícios. Para além da energia operacional	561
<i>Carlos Augusto, Luís Bragança, Manuela Almeida</i>	
Fabricação artesanal de briquetes utilizando resíduos de jornal e serragem de madeira	571
<i>Marcela Ferreira, Adeildo Silva</i>	
Utilização de resíduos de pneus em argamassa para revestimento	581
<i>Daiana Arnold, Adriana Silva, Alexandre Silva, Adair Kaiser, Janaina Rosa</i>	
Comparação de Propriedades de Argamassas Dosadas com Areia Natural e Resíduos do Beneficiamento de Rochas Ornamentais	589
<i>Farah Silva, Felisbela Oliveira, Arnaldo Carneiro</i>	
<b>Chapter 3: Integrated design of renewable energy systems in buildings</b>	
<b>Capítulo 3: Projeto integrado de sistemas de energias renováveis em edifícios</b>	
<b>Capítulo 3: Diseño integrado de sistemas de energías renovables en edificios</b>	
Old buildings, new cities: Analysis of Brussels' Leopold quarter building typologies as a driver to identify optimal retrofitting strategies	601
<i>Aránzazu González, Consolación Román, Philippe Bouillard, Sophie Trachte, Arnaud Evrard</i>	
Comportamento do software Ecotect comparado ao software EnergyPlus	611
<i>Juliana José, Marcos Borges, Eduardo Castro</i>	
Assessing the energy saving potential of semi-transparent photovoltaic elements for building integration	621
<i>Lorenzo Olivieri, Estefanía Martín, Francisco Vázquez, Nuria Chivelet, Francesca Olivieri, Javier Neila</i>	
Equipment and systems in energy-efficient homes for the Center-South of Chile	631
<i>Flavio D'Amico, Ernesto Valiente, Rodrigo Alvarado, Maureen Kelly, Olavo Escorcía</i>	

## Author Index / Índice de Autores / Índice de Autores

Abacioğlu, Ceren	1309	Báez, Ana	189
Abdalla, José	1755	Baggiotto, Angélica	1007
Aguiar, Felipe	969	Barata, Tomas	475, 495
Aires, María	2173	Barbosa, José	1309, 1347, 1563
Albani, Vivian	1621, 2067	Barbosa, Juliana	1161
Albuquerque, Daniela	1075	Barbosa, Ricardo	63
Almeida, Estela	163	Barbosa, Teresa	455, 1393
Almeida, Fernando	465	Barros, Ana	2017
Almeida, Karinnie	1179	Barros, Joaquim	373
Almeida, Manuela	355, 561, 1261, 1271, 1441, 1563, 1705, 1745, 2449, 2457	Barros, Raquel	1949
Alonso, Mónica	2173	Basso, Franciele	1355
Altın, Müjde	1309	Bastos, Celso	1197
Altoé, Emanuella	1449	Bastos, Leopoldo	1491
Alvarado, Rodrigo	319, 631	Bauer, Elton	411
Alvarez, Cristina	199, 237, 247, 257, 267, 503, 513, 551, 883, 1105, 1449, 1667, 1695, 1725, 1735, 2153	Beinichis, Maria	1289
Alves, Alessandro	1007, 1017, 1027	Bello, Angelo	1897
Alves, Luciana	951	Bergamasco, Sonia	843
Amorim, Cláudia	411	Bernardes, Marina	2391
Andrade, Fernanda	301	Berni, Mauro	12513
Andrade, Liza	1855, 1961, 2419	Bertini, Alexandre	1299, 2211
Andrade, Sarah	863, 1765	Bettencourt, Antonio	1657
Andreev, Andrej	99	Bianco, Carola	1459
Antoniolli, Cibele	1411	Bokos, Helena	2419
Antunes, Eliane	1867	Boeri, Andrea	1685
Araújo, Bianca	951	Boita, Jocenir	285
Araújo, Catarina	1347, 1563	Bonatto, Daniella	2085
Araújo, Elisabete	523	Bonneaud, Frédéric	1491
Araújo, Joel	1795, 1999	Borges, Amadja	835, 853, 863, 1765
Araujo, Victor	1161	Borges, Marcos	485, 611
Araújo, Virgínia	951	Bortolini, Gleica	257
Arnold, Daiana	581	Bosetti, Adriano	1187
Ashour, Ahmed	1745	Both, Evelise	1355
Assis, Leandro	1621, 2067	Bouillard, Philippe	601
Ataíde, Ruth	1805	Bragança, Luís	353, 541, 561, 793, 923, 1271, 1309, 1347, 1421, 1441, 1479, 1563, 1695, 1745, 2045, 2449, 2457
Augusto, Carlos	561	Brandli, Luciana	1319, 1355
Azevedo, Fernanda	2439	Breginski, Herminia	2361
Azevedo, Fernando	943	Brito, Jorge	107
		Brosler, Taísa	843



Brum, Cristhian	1007, 1017, 1027	Cortês, Marina	969
Bueno, Cristiane	1521	Cossio, Gustavo	277
Bueno, Laura	163, 1601, 1971	Costa, Carlos	1785
Buonomano, Annamaria	649	Costa, Dayana	1897
Cabrera, Natasha	1937	Costa, Geraldo	2243
Cachim, Paulo	1431	Costa, Maria	1261
Caiche, Daniel	1115	Costa, Pedro	373
Cain, Tyler	1479	Coura, Claudia	455
Caldas, Vitor	1755	Covaleski, Joani	1007
Calmon, João	503	Coventry, Kathryn	337, 347
Camacho, Nádía	1755	Criollo, Verónica	189
Campos, Adriana	1927	Cristofari, Christian	669
Campos, Heloisa	531	Croce, Rômulo	1621
Cannaviello, Monica	15	Cunha, Eduardo	209
Caram, Rosana	355	Cunha, Marco	1491
Cardoso, Francisco	2507	Cunha, Rita	401, 1261
Cardoso, Poliana	1233	Curado, António	1133
Carissimi, Elvis	2313	Cvetkovska, Meri	99
Carli, Ludmila	1621, 2313	D'Amico, Flavio	631
Carlo, Joyce	2303	Dalvi, Márcia	257, 1695
Carneiro, Arnaldo	589	Daris, Denise	1319
Carrasco, María	145	Defagot, Carlos	145
Cartana, Rafael	2399	Diana, Lorenzo	83, 89
Cartes, Ivan	1169, 2489	Dias, Bernardo	503
Carvalho, Carolina	2399	Dias, Clara	1375
Carvalho, Miguel	2457	Dias, Eli	337
Casagrande, Eloy	1337	Díaz, María	43
Casañas, Virginia	1459	Dibo, José	137
Castillo, José	189	Direitinho, Romão	445
Castro, Eduardo	485, 611	Duarte, Sérgio	2231
Castro, Fátima	1421	Duarte, Técia	1501
Cecere, Carlo	73, 83, 89	Ecker, Vivian	2133, 2143
Cerca, Mariana	1039	Eckert, Matthias	361
César, Sandro	401, 1273	Eires, Rute	523, 793
Chaves, Maria	969	Elesbon, Abrahão	1621
Chemisana, Daniel	669	Elmasuri, Talal	1551
Chivelet, Nuria	621	Erjavec, Ina	1785
Christo, Tiago	1105	Escorcia, Olavo	631
Chwieduk, Dorota	687	Espinosa, Ignacio	1085
Claro, Paula	1213	Evrard, Arnaud	601
Clementella, Gioia	73	Fabício, Márcio	825, 1521, 2429
Coelho, Fernanda	1511	Fardin, Jussara	1105
Colleto, Giseli	1531	Faria, Obede	747
Comlay, Julie	1541	Fassina, Sirana	2153
Comunello, Felipe	2381	Fastofski, Daniela	1877
Conde, Karla	2055	Fátima, Rosa	1805

Silva, Miss	1805	Tzortzopoulos, Patricia	1551
Silva, Neuza	1917	Uhmman, Isaura	421
Silva, Ricardo	1115, 2479	Ulian, Giovana	1169
Silva, Roberto	1337	Vaggetti, Marcos	227, 933, 2313
Silva, Rodrigo	285	Valencia, Diana	291
Silva, Rui	107	Valiente, Ernesto	631
Silva, Sandra	2457	Vanegas, Enrique	291
Silva, Simone	1065	Vanz, Thauana	1611
Silva, Vanessa	1179, 1375, 1531,	Vargas, Paulo	267
	1365	Vasconcelos, Juliano	1161
Silveira, Aline	873	Vasinton, Simona	89
Silvoso, Marcos	1511	Vassiliades, Constantinos	697
Simões, Renata	1715, 2153	Vaz, Nelson	2133, 2143
Simonetti, Domingos	1105	Vazquez, Elaine	541
Siolari, Maristela	309, 1917	Vázquez, Francisco	621
Soares, Carlos	437	Vega, Johnny	291
Soares, Roberta	227	Venancio, Luisa	1855
Soares, Talita	531	Veraldo, Ana	803
Soria, Francisco	729, 739	Verbeeck, Griet	1299
Sorte, Pedro	183	Verde, Francesca	2351
Sousa, José	825, 2429	Viana, Gabriel	309
Sousa, R. José	1095	Viana, Sabrina	1115
Souza, Léa	2201	Vicente, Romeu	63
Spielmann, Tanise	1611	Vicentim, Thaisa	1581
Sposto, Rosa	1327	Vicidomini, Maria	649
Stollo, Mariarosaria	2351	Villaça, Ana	785
Stürmer, Bruna	1355	Vilar, Katila	2489
Tamašauskas, Rokas	717	Violano, Antonella	15, 2351
Tamiosso, Larissa	979	Vital, Giovanna	2271
Tassinari, Jane	1251	Viveros, Cristián	319
Tavares, Jéssica	2371	Wander, Paulo	1411
Tavares, Sérgio	421, 1281, 2371	Wandersleben, Gerth	319
Tawayha, Fajr	923	Wegertseder, Paulina	2323
Teixeira, José	2181	Xavier, Tatiana	247
Tizze, Nicolás	997	Ximenes, Deize	117, 127
Tomaselli, Débora	531	Yuba, Andrea	803, 1845
Tomé, Ana	33, 53	Zalamea, Esteban	319, 639
Tomé, Marina	267	Zambrano, Letícia	1755
Torezani, Flavia	1715	Zannin, Paulo	1667
Toro, Montserrat	1085	Zanoni, Vanda	411
Tortorelli, Fosca	15		
Trachte, Sophie	601		
Troncoso, Lorena	639, 2323		
Trpevski, Strahinja	99		
Túlio, Sérvio	1197		
Tumini, Irina	1675		

## Equipment and systems in energy-efficient homes for the Center-South of Chile (CASA+).

Flavio Celis D'Amico

Universidad de Alcalá de Henares, Departamento de Arquitectura, Alcalá de Henares, España  
[celis.flavio@uah.es](mailto:celis.flavio@uah.es)

Ernesto Echeverria Valiente

Universidad de Alcalá de Henares, Departamento de Arquitectura, Alcalá de Henares, España  
[echevus@gmail.com](mailto:echevus@gmail.com)

Rodrigo García Alvarado

Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile  
[rgarcia@ubiobio.cl](mailto:rgarcia@ubiobio.cl)

Maureen Trebilcock Kelly

Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile  
[mtrebilcock@ubiobio.cl](mailto:mtrebilcock@ubiobio.cl)

Olavo Escorcía

Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia  
[oescorcio@unal.edu.co](mailto:oescorcio@unal.edu.co)

**ABSTRACT:** This work exposes the application of integrated design theories to develop an innovative prefabricated housing system called "CASA+". This model is the answer for the growing environmental constraints to encourage new housing design strategies. The proposal achieves high density, flexible growth, environmental comfort and minimum fuel consumption. The proposal demonstrates too, the use of new analysis technologies and design concepts substantially to improve residential quality. The proposed model not only as a theoretical exercise but clearly intended to be placed on the market and to test the advantages of its design. On the other hand it makes no attempt to get a new version of "passive house" but something that is accessible to the general public and with a modern aesthetic.

**Keywords:** Integrated Design; High-performance Buildings; Prefabricated Construction; Housing; Energy Simulations.

**RESUMEN:** En este trabajo se expone la aplicación de las teorías de diseño integrado para desarrollar un innovador sistema de vivienda prefabricada llamada "CASA +". Este modelo es la respuesta para las crecientes presiones medioambientales para fomentar nuevas estrategias de diseño de la vivienda en Chile. La propuesta logra una alta densidad, un crecimiento flexible, confort ambiental y mínimo consumo de combustible. La propuesta demuestra también el uso de nuevas tecnologías de análisis y conceptos de diseño aplicados a la mejora de la calidad residencial. El modelo propuesto no es sólo como un ejercicio teórico, se propone como un prototipo para el mercado de la vivienda en Chile. Tampoco pretende desarrollar una nueva versión de "casa pasiva" altamente sofisticada, sino plantear una propuesta accesible público en general.

**Palabras clave:** Diseño Integrado; Edificios de gran rendimiento; Construcción prefabricada; Vivienda; Simulaciones de energía.

## 1 ANTECEDENTES

### 1.1 Planteamiento

Con objeto de poner en práctica todas las conclusiones y conocimientos adquiridos del proyecto de investigación financiado por el CONYCIT, “Diseño Integrado para la Reconstrucción de Viviendas Energéticamente Eficientes” (Celis et al, 2012), cuya finalidad era la mejora de la calidad constructiva, la mejora de la eficiencia energética y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de las viviendas de nueva implantación en las tres regiones más afectadas por el maremoto (Maule, Bio-Bio y ARAUCANIA) en Chile del 27F de 2010, se ha planteado la definición de un sistema constructivo-arquitectónico de alta eficiencia energética denominado CASA+, que puede ser implementado en los sectores de mayor crecimiento inmobiliario. Aunque el planteamiento de CASA+ es un planteamiento arquitectónico global, en el presente artículo se hará más hincapié en la integración de los sistemas activos y pasivos de eficiencia energética.

### 1.2 Objeto

El objeto de esta investigación es el diseño de una vivienda, o de un sistema de viviendas con un coste de construcción accesible a un gran segmento de la población, con unas emisiones de CO<sub>2</sub> lo más reducidas posibles. El segmento de población estudiado al que se dirige esta investigación es aquel que accede a una vivienda libre con subsidio, de unos 60m<sup>2</sup>, del entorno de los 200.000 pesos chilenos /m<sup>2</sup>. Dicha vivienda es actualmente edificada y comercializada por el sector privado, no existiendo estudios de envergadura de análisis arquitectónico sobre dichas tipologías, en contra de lo que sucede con la vivienda social, mucho más estudiada (Bustamante, 2009) y que queda excluida de esta investigación.

El sistema propuesto usa las conclusiones de los estudios realizados durante la fase de documentación del proyecto de investigación citado (clima, implantación, tipologías, sistemas constructivos, datos de desempeño energético) y combina decisiones de carácter proyectual (optimización de la ubicación en el sitio, de la orientación, de la captación solar, del factor de forma, y propuesta de nuevas agrupaciones urbanas), con otras de carácter constructivo (introducción de mejoras en los sistemas utilizados hasta el momento en envolvente, como la estanqueidad o las infiltraciones de aire), tanto en los sistemas de producción (desarrollo de sistemas modulares replicables) como en los sistemas activos de climatización e instalaciones.

## 2 DESARROLLO METODOLOGICO

A partir del análisis de las conclusiones obtenidas analizando el estado actual del segmento de edificación estudiado (Celis et al, 2012), el proyecto se desarrolló aplicando tres estrategias para el desarrollo colaborativo de edificios de alto desempeño (García et al, 2012):

- definición previa y consensuada de metas y prestaciones del diseño;
- utilización de herramientas de evaluación para definir la volumetría y las características constructivas y urbanas del proyecto;
- reuniones multidisciplinares regulares para desarrollar y revisar el proyecto.

El equipo de trabajo estuvo encabezado por uno de los investigadores extranjeros con experiencia proyectual, convocando profesionales de distintas especialidades y roles (asesor bioclimático, simulaciones ambientales, modelado BIM, calculo estructural, presupuestos, responsable ejecución). Se incluyeron representantes de una empresa constructora local, con interés en aplicar el sistema constructivo propuesto y con amplia experiencia en desarrollos residenciales del mismo rango económico. Se realizaron diversas sesiones compartiendo tareas y resultados y discutiendo diferentes condiciones que permitieron refinar sucesivamente el diseño (Fig.1), utilizando una metodología de diseño integrado (Zimmerman, 2004).

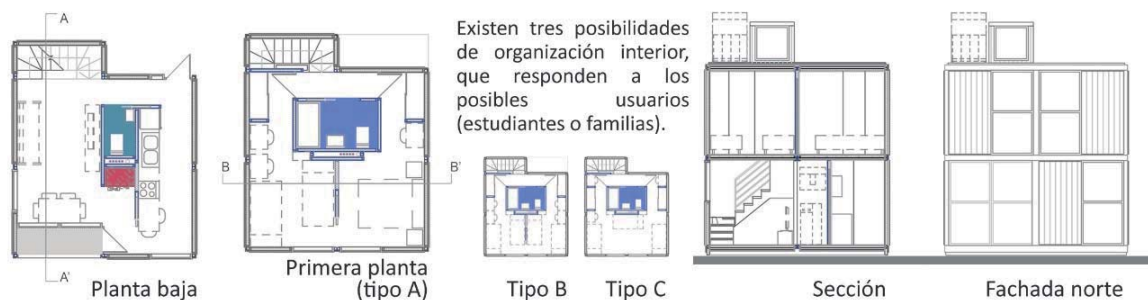


Fig.1: Planimetría de la vivienda CASA+

### 3 DISEÑO PASIVO PROPUESTO

El prototipo ha sido simulado mediante herramientas informáticas en varias localizaciones en la zona de estudio. En condiciones de vivienda aislada en la zona más poblada, la ciudad de Concepción, se obtienen unos ahorros energéticos del 75% (Fig.2). El dato toma como referencia los estudios puntuales realizados sobre vivienda construida (no hay mediciones sistemáticas, aunque sí algunos estudios experimentales) que sitúan dichas demandas en una horquilla de entre un mínimo de unos 110Kwh/m<sup>2</sup> en viviendas de dos plantas pareadas (Bustamante, 2009), hasta unos máximos medidos en la zona de estudio de unos 192Kwh/m<sup>2</sup> en vivienda unifamiliar aislada (IIT, 2009).

En los estudios realizados por simulación en el transcurso de la investigación aplicada, la media de demanda para una vivienda aislada tipo en el área de estudio se sitúa en torno a los 143kwh/m<sup>2</sup> (Celis et al, 2012), que se resuelve de modo mayoritario con calefacción de leña de baja calidad, lo que implica obtener un bajo confort térmico, con una media de 16C°, y una mala combustión que aporta altos niveles de emisiones de CO<sub>2</sub>.

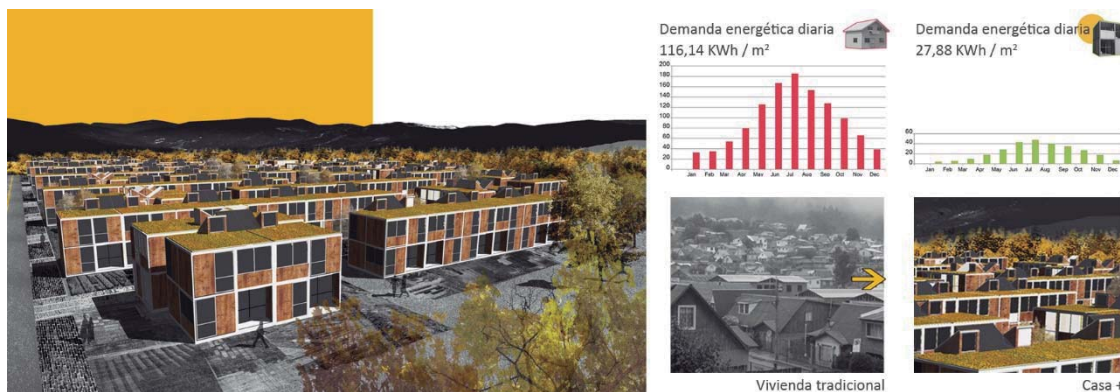


Fig.2: Imagen global de la propuesta, y comparación de demanda energética de una vivienda habitual y de la vivienda CASA+.

En función de la agrupación urbana usada (construcción aislada, adosada a una cara o a dos caras) y la orientación, las demandas energéticas diarias del prototipo fluctúan entre los 16kWh/m<sup>2</sup> y los 25kWh/m<sup>2</sup>, lo que supone unos ahorros en torno al 80% respecto de la construcción habitual (Fig.3).

El sistema constructivo propuesto es modular, basado en un panel de cerramiento tipo sándwich SIP, con acabado exterior e interior en viruta de madera reciclada y orientación y aislamiento interior en EPS de alta densidad, de modulación 2,45m. x 1,225m., que puede ser colocado tanto en vertical como en horizontal, lo que produce unidades cúbicas de 2,45m. x 2,45m., que con el añadido de un entramado estructural, resuelve la unidad básica en módulos de 2,67m. x 2,67m.. La planta básica de la unidad modular de CASA+ es por tanto una unidad de planta cuadrada de 5,34m. de lado y 28,5m<sup>2</sup> de superficie construida. La vivienda básica, de dos plantas, se define



así con una superficie de 57m<sup>2</sup> construidos, a los que hay que añadir el elemento de escalera, que se conforma como una pieza adosada al cubo, de unos 3m<sup>2</sup> de superficie, en total una superficie de 60m<sup>2</sup> construidos y 53,5m<sup>2</sup> útiles (fig.4).

MUROS W/m <sup>2</sup> °C	VENTANAS W/m <sup>2</sup> °C	% VENTANAS NORTE	% VENTANAS SUR	MASA INTERIOR 20cm	AGRUPACIÓN VIVIENDA SEGÚN NORMA (1)																		
1,7	5,8	30	20	No	VIVIENDA MEJORADA SIN MASA TÉRMICA (2)	147	107	69	143	111	81	140	115	91									
0,8	3	30	20	No	VIVIENDA MEJORADA CON MASA TÉRMICA (3)	91	39%	70	35%	50	28%	87	39%	71	36%	55	33%	75	46%	67	42%	60	34%
0,8	3	30	20	Yes	OPTIMIZACIÓN DE HUECOS A NORTE (4)	76	49%	54	49%	33	51%	71	50%	55	51%	38	53%	65	54%	53	54%	40	56%
0,8	3	60	10	Yes	% HUECOS A NORTE CON RESPECTO A LA SUPERFICIE DE LA VIVIENDA (4)	58	61%	34	39%	20	71%	54	63%	42	62%	29	72%	51	64%	41	65%	34	63%
0,8	3	60	10	Yes		22%		21%		20%		19%		17%		17%		22%		21%		20%	

Fig.3: Comparativa de demandas energéticas y ahorros en función de cambios de diseño pasivo.

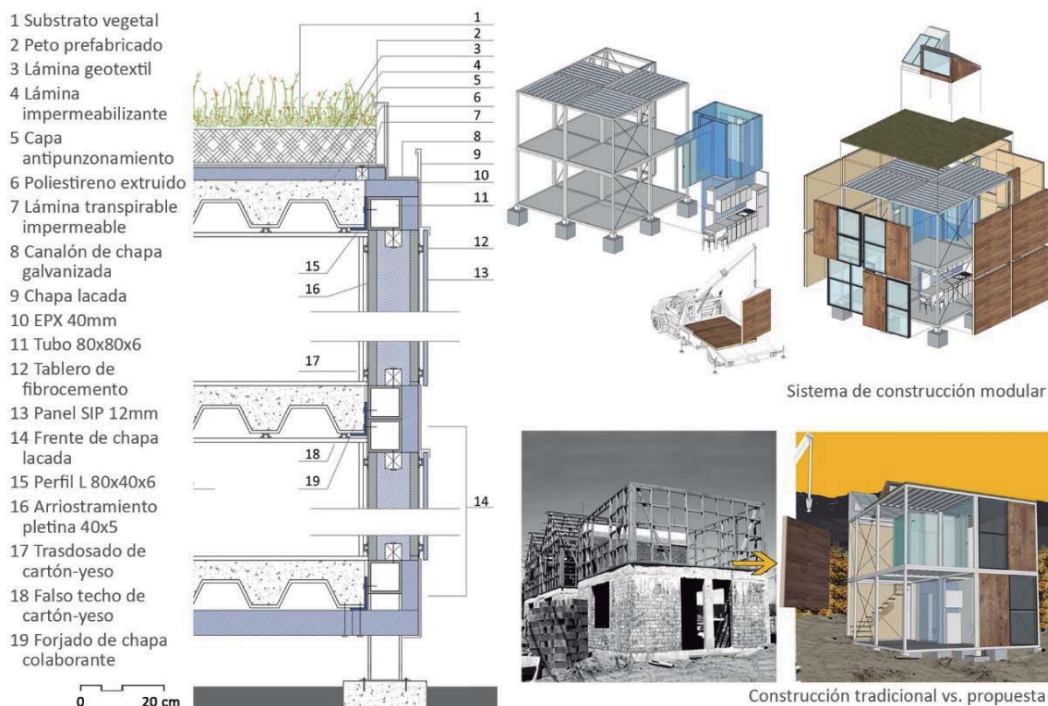


Fig.4: Detalles de diseño y construcción.

En todo caso, CASA+ puede también disponerse en un prototipo más elemental, eliminando dos módulos superiores y dejando una unidad de 45m<sup>2</sup> construidos, lo que se estima como un límite mínimo. Sin embargo, el segmento al que se dirige mayoritariamente CASA+ está conformado precisamente por el sector de viviendas con subsidio de clase media o media-baja, cuya superficie y número de dormitorios se asimila mayoritariamente al prototipo de 60m<sup>2</sup>. Ampliaciones en módulos superiores, con un tercer piso o un bajo cubierta habitable, pueden elevar la superficie construida del prototipo hasta los 90m<sup>2</sup> con cuatro piezas habitables, aunque también es posible extender la modulación por los laterales, incrementando la superficie en un 50%, 75%, 100%, 125% o 150%, dado su carácter modular.

#### 4 SISTEMAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Además de los importantes ahorros energéticos obtenidos simplemente a través del diseño y la configuración de la vivienda (diseño pasivo), el proyecto se remata con la incorporación de sistemas eficientes de generación y consumo de energía (diseño activo). Los sistemas integrados responden al doble principio de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, aumentando la eficacia y el rendimiento de los mismos, con la necesaria contención de su coste de implantación y

mantenimiento, además de utilizar tecnologías probadas y compatibles con la industria local (Fig.5).

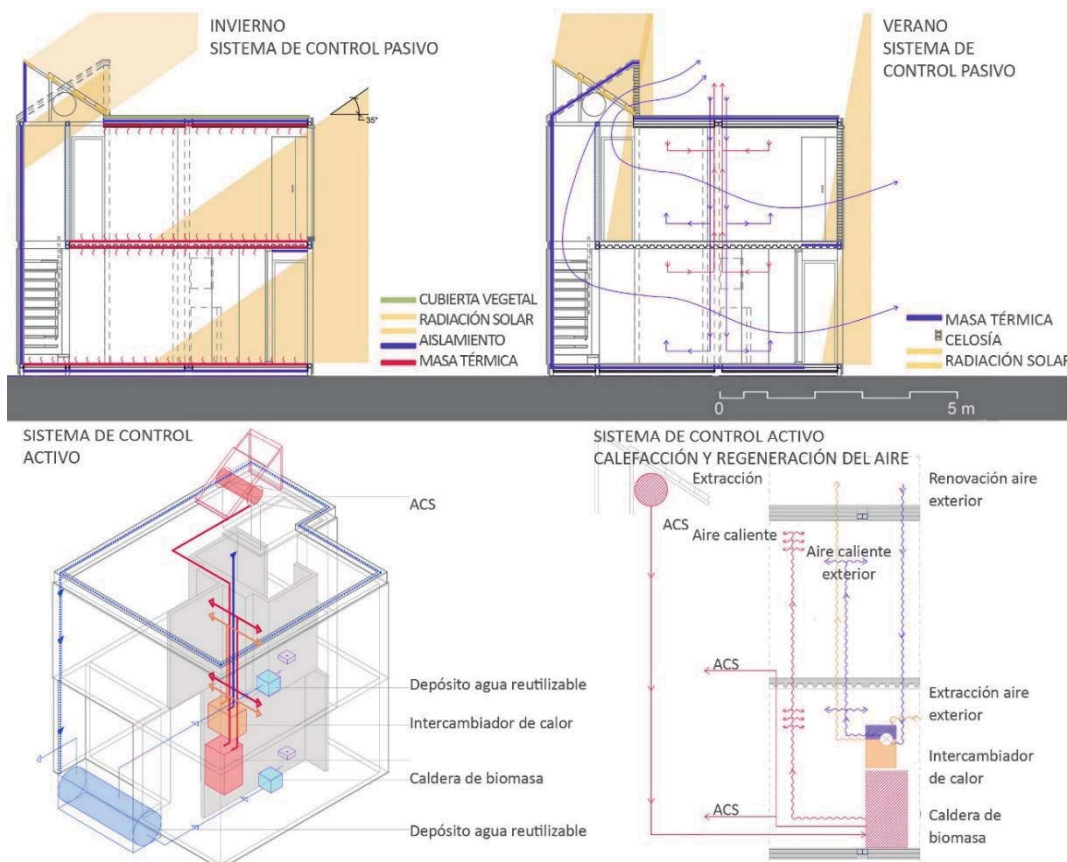


Fig.5: Esquemas de funcionamiento bioclimático.

#### 4.1 Producción de energía para calentamiento

Dado que en todos los estudios se detecta una pequeña pero necesaria demanda de calefacción en los meses más fríos, después del estudio de distintas soluciones y combinaciones (sistemas de calderas de aire, de calderas de agua, de calderas mixtas), dependiendo del coste y de la eficacia de los resultados, mediante software específico de simulación energética (Programas Ecotec y Casanova), se ha optado por una caldera de biomasa de 6,5 Kw, con un apoyo de termo paneles de energía solar de 4m<sup>2</sup> para agua caliente sanitaria. La biomasa se considera energía “limpia, o CO<sub>2</sub>=0”. Las reducidas dimensiones de la vivienda hacen posible que sea factible transmitir el calor directamente de la fuente de producción por conductos de aire de reducida sección.

#### 4.2 Ventilación con recuperación de calor

El propio diseño de la vivienda permite que la ventilación cruzada mejore las condiciones de renovación de aire y facilita la disminución de la sensación térmica de calor en los meses de verano. En los meses invernales más extremos, se incorpora en el diseño un sistema de recuperación de calor para la renovación de aire (250m<sup>3</sup>/h) que minimiza las pérdidas por ventilación, y que en determinadas épocas del año es suficiente para alcanzar los rangos de confort necesarios. No es preciso usar un recuperador de doble flujo a contracorriente de altísima eficiencia de rendimientos en torno del 98% (como algunos modelos de Zehnder o S&P), pudiendose usar sistemas más económicos y accesibles de placas de flujo cruzado con rendimientos del 54% o 56%.

### 4.3 Ahorro de agua

En el prototipo se usan las dos estrategias posibles de reducción de consumo. La reutilización de aguas grises, y el almacenamiento de aguas de lluvia para usos no potables.

Con el reúso de aguas grises se obtiene un volumen de unos 1.500 litros semanales para una ocupación de 4 personas. El consumo estimado de agua no potable en una vivienda por persona es de unos 120 litros/persona/día, con lo que la demanda se estima en unos 3.400 litros semanales, por lo cual el prototipo incorpora también un sistema de gestión de agua de lluvia, mediante depósitos y bombas de recirculación.

Existe un total anual de precipitaciones de 1110.1 mm/m<sup>2</sup>. Hay que tener en cuenta que las precipitaciones no son uniformes durante el año, por lo que en los meses de mayores precipitaciones (May, Jun, Jul) se obtienen unos 1.325 l/semanales y en los meses secos (Ene, Feb, Mar) 500 l/semana (Fig.6).

**PROMEDIO PRECIPITACIONES MENSUALES  
CONCEPCION**

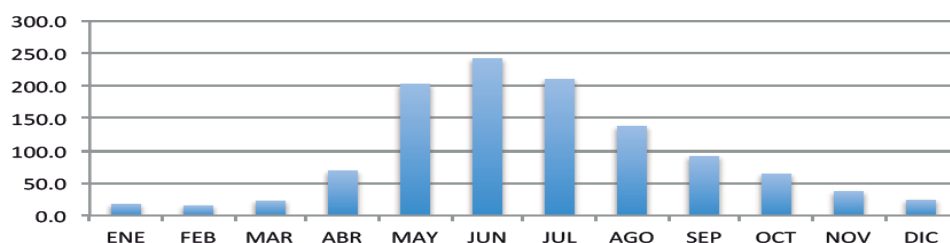


Fig. 6: Tabla de precipitaciones de la ciudad de Concepción.

Por tanto, ni siquiera en la época húmeda se cubre la 100% demanda, por lo que el almacenaje recomendado (en función del espacio disponible) es de unos 2.000 litros, una medida de depósito prefabricado asequible comercialmente y de fácil mantenimiento. Además, y aun no cubriendo el 100% de las necesidades, se obtienen unos ahorros de 100 m<sup>3</sup> de agua al año, lo que supone casi el 40% del consumo total de agua de esta vivienda.

### 4.4 Paneles fotovoltaicos

TIPO DE VIVIENDA	Sup. cubierta total	Sup. de cubierta a usar (80%)	Consumo total kwh/año	Consumo calefacción kwh/año	ACS kwh/año	Consumo electricidad kwh/año	Calidad solar	Potencial solar total kwh/año	Unidades de paneles fotovoltaicos	Energía generada kwh/año	% de aporte de energía solar	Energía solar enviada a la red kwh/año	% de energía solar enviada a la red
										Energía generada kwh/año	% de aporte de energía solar	Energía solar enviada a la red kwh/año	% de energía solar enviada a la red
4 Módulos Vivienda base	22,45	17,96	6,062	4,516	691	849	bueno	32,328	15	1,946	229	1,097	129
	22,45	17,96	6,062	4,516	691	849	regular	30,532	15	1,616	190	768	90
	22,45	17,96	6,062	4,516	691	849	malo	28,736	15	1,512	178	663	78
5 módulos Vivienda base + ampliación 1	28,06	22,45	6,735	5,018	768	943	bueno	40,410	19	2,432	258	1,489	158
	28,06	22,45	6,734	5,017	768	943	regular	38,162	19	2,020	214	1,078	114
	28,06	22,45	6,734	5,017	768	943	malo	35,917	19	1,889	200	947	100
6 módulos Vivienda base + ampliación 2	33,68	26,94	7,577	5,645	864	1,061	bueno	48,492	22	2,919	275	1,858	175
	33,68	26,94	7,578	5,646	864	1,061	regular	45,805	22	2,425	229	1,364	129
	33,68	26,94	7,578	5,646	864	1,061	malo	43,110	22	2,268	214	1,207	114

TIPO DE VIVIENDA	Sup. cubierta total	Sup. de cubierta a usar (40%)	Consumo total kwh/año	Consumo calefacción kwh/año	ACS kwh/año	Consumo electricidad kwh/año	Calidad solar	Potencial solar total kwh/año	Unidades de paneles fotovoltaicos	Energía generada kwh/año	% de aporte al sistema	Energía solar enviada a la red kwh/año	% de energía solar enviada a la red
										Energía generada kwh/año	% de aporte al sistema	Energía solar enviada a la red kwh/año	% de energía solar enviada a la red
4 Módulos Vivienda base	22,45	8,98	6,062	4,516	691	849	bueno	32,328	7	973	115	124	15
	22,45	8,98	6,062	4,516	691	849	regular	30,532	7	808	95	0	0
	22,45	8,98	6,062	4,516	691	849	malo	28,736	7	756	89	0	0
5 módulos Vivienda base + ampliación 1	28,06	11,23	6,735	5,018	768	943	bueno	40,410	9	1,216	129	273	29
	28,06	11,22	6,734	5,017	768	943	regular	38,162	9	1,010	107	67	7
	28,06	11,22	6,734	5,017	768	943	malo	35,917	9	945	100	0	0
6 módulos Vivienda base + ampliación 2	33,68	13,47	7,577	5,645	864	1,061	bueno	48,492	11	1,459	138	398	38
	33,68	13,47	7,578	5,646	864	1,061	regular	45,805	11	1,212	114	152	14
	33,68	13,47	7,578	5,646	864	1,061	malo	43,110	11	1,134	107	73	7

Fig.7: Comparativa de rendimientos con las diferentes opciones de energía fotovoltaica.



Se cuenta igualmente con el apoyo de paneles fotovoltaicos, que además de aportar energía a la casa, sirven para alimentar los sistemas eléctricos de control y monitorización. Se han hecho varios supuestos con un aprovechamiento de entre el 40% y el 80% de la cubierta, aprovechando distintas calidades de radiación diaria. Dado que el objetivo no es ser autosuficiente, la situación más adecuada a las necesidades de una vivienda tipo sería una superficie del 40% de la cubierta, con 7 paneles con unos 9m<sup>2</sup>. Si la calidad de la radiación es buena, se puede cubrir al 100% las necesidades de la vivienda y se puede vender a la red la energía excedente (Fig.7).

## 5 COSTES

Otra de las cualidades de CASA+ es alcanzar los estándares propuestos con una inversión económica suficientemente ajustada en relación coste-beneficio. En los estudios de presupuesto realizados, el resultado final de construcción de CASA+, teniendo en cuenta la parcela, supone una repercusión de 12,96UF/m<sup>2</sup>, lo que entra dentro de un coste medio que se sitúa en los 15UF/m<sup>2</sup>.

Mayores ahorros podrían conseguirse mejorando los tiempos de ejecución de obra e incrementando la prefabricación, lo que podría traducirse en mejoras de los acabados, instalaciones o en aumentos de la superficie construida (Fig.8).

Tab. 1: Tabla de costes generales.

Costos Casa+ (En pesos chilenos)	
Costo Directo	8.800.581
Gastos generales	15% 1.320.087
Beneficios	14% 1.232.081
Subtotal neto	11.352.750
IVA	19% 2.157.022
Descuento IVA vivienda	65% -1.402.065
Total IVA	754.958
Total	12.107.707
Unitario m <sup>2</sup>	201.795
En UF, 1UF= 22.500 Pesos, 37,33 Euros o 48,50 USD	
Total	538,12 UF
Unitario m <sup>2</sup>	8,96 UF
Lote urbanizado	240 UF
Total	778,12 UF
Unitario m <sup>2</sup>	12,96 UF

## 5 CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA

Se puede concluir que la construcción de una casa eficiente no es un objetivo imposible, y puede ser competitiva con el resto de productos inmobiliarios existentes en el segmento de mercado al que está dirigida.

Se puede reducir la demanda energética hasta una horquilla entre los los 16kWh/m<sup>2</sup> y los 25kWh/m<sup>2</sup>, lo que supone unos ahorros en torno al 80% con respecto a los valores obtenidos en la construcción habitual, con unos costes unitarios cercanos a los 13UF/m<sup>2</sup>. Estos costes están dentro de los límites de los 15UF/m<sup>2</sup>, en los que actualmente se mueve la construcción de viviendas de características similares (en m<sup>2</sup>), pero con desempeños energéticos muy inferiores, lo que implica una clara oportunidad para desarrollar viviendas económicas de alta eficiencia energética, cuyo impacto en el conjunto del país es además muy alto, por ser el segmento de construcción con mayor tasa de crecimiento (MINVU 2012).

El primer prototipo CASA+ se encuentra actualmente en fase de anteproyecto. El interés del mercado inmobiliario por la propuesta deja abierta la puerta a una nueva fase en la que, si se consiguen aunar las sinergias y atraer los fondos adecuados, sea posible la realización de un

proyecto constructivo y su desarrollo en una primera unidad a realizar en la UBB para evaluar la complejidad de la construcción, el aquilatamiento de costes y, sobre todo, la monitorización energética de la misma en un periodo de tiempo prolongado, de tal modo que pueda demostrarse la viabilidad de la propuesta y la replicabilidad del proyecto a gran escala.

Como continuación de estos estudios teóricos previos se está desarrollando por parte de los investigadores un nuevo proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Economía y competitividad de España. El proyecto “ENERBIUS-13”: Sistema Integrado para la optimización energética y reducción de la huella de CO<sub>2</sub> en edificios: Tecnologías BIM, indoor mapping, UAV y herramientas de simulación energética (ENE2013-48015-C3-2-R) pretende poder medir sobre los edificios acabados sus gastos y rendimientos energéticos reales para poder comparar con las previsiones proyectuales y aplicar soluciones de rehabilitación energética.

## 6 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile por la financiación de este proyecto, MEL 81100003, y al equipo de Master y Doctorado de la Universidad del Bio-Bio las ayudas prestadas para la realización de la investigación.

## REFERENCIAS

AAVV. 2012. Casa prefabricadas. Ilus Books, Madrid

Bustamante, W. 2009. *Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social*. Chile. [http://www.acee.cl/576/articles-61341\\_doc\\_pdf.pdf](http://www.acee.cl/576/articles-61341_doc_pdf.pdf)

Celis, F.; Garcia, R.; Trebilcock. M.; Escorcía, O.; Bruscatto U.; Diaz, M. 2012. Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile. *Arquiteturarevista (UNISINOS)*, v. 8: 62-75.

Escorcía O., García G., Trebilcock M., Celis F., Bruscatto M. 2012. Mejoramientos de envolvente para la eficiencia energética de viviendas en el centro-sur de Chile. *Informes de la Construcción, Vol.64, nº528*: 563-574. doi 10.3989/ic.11.143

García R. Underlea B., Trebilcock M., Celis F., Escorcía O. 2012. Connecting up capacities: integrated design for energy-efficient housing in Chile. *Open House International*, nº 370–3: 60-72

Instituto Nacional de Estadísticas (INE) Chile 2002. Síntesis Censal 2002. <http://www.ine.cl/cd2002/sintesisencensal.pdf>

Keeler M., Burke. 2009. *Fundamentals of Integrated Design for Sustainable Building*. Wiley, New York.

Lobos D. 2011. *BIM Supported Building, Envelops and Space*. Bauhaus-Universität, Weimar

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU): Estado de situación del sector, Chile, 2012. *Listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico*.

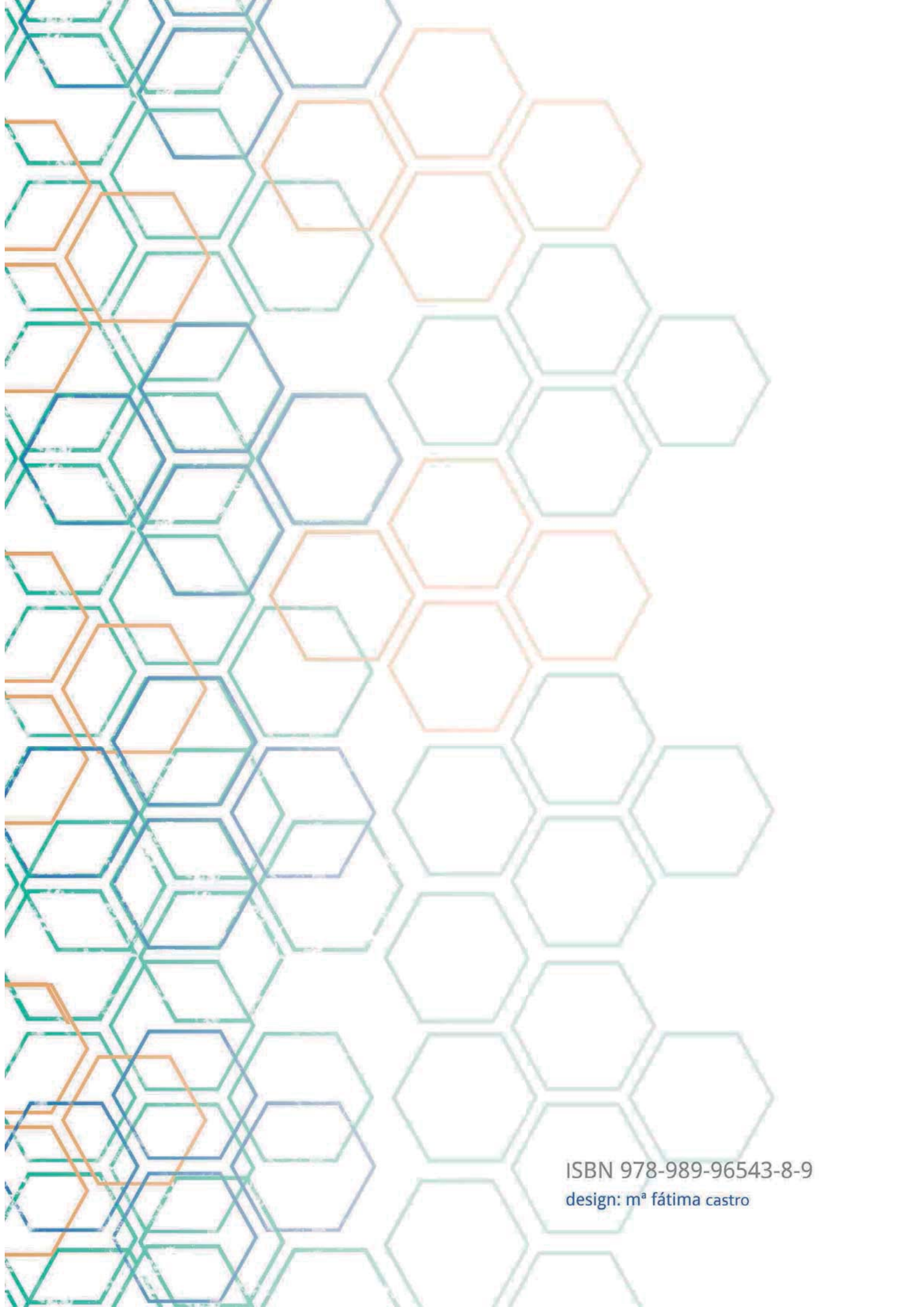
Moe K. 2008. *Integrated Design in Contemporary Architecture*. Princeton Architectural Press. New York.

Rozas Y., Bardi C. 2010. *Eficiencia Energética en Vivienda*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Santiago.

Soffia A., Rudolphy, G. 2012. Casa en panel SIP, Santo Domingo, Chile. *ARQ nº82*. doi 10.4067/S0717-69962012000300009

Trebilcock M., Schiappacasse F., Saelzer G., Bobadilla B, Opazo A., Guzmán F., Figueroa R.; 2012. *Performance Integrated Design of Low-cost Housing in Chile*, Conferencia-ponencia. PLEA 2012, Lima.

Zimmerman A. 2004. *Integrated Design Process Guide: Worldwatch Paper*, Washington.



ISBN 978-989-96543-8-9  
design: m<sup>a</sup> fátima castro