

CARACTERIZACIÓN DE PATRONES
BIOCLIMÁTICOS EN TEJIDOS URBANOS
RESIDENCIALES

Luz Cárdenas Jirón

MAYO – JUNIO 2012

**CARACTERIZACIÓN DE PATRONES
BIOCLIMÁTICOS EN TEJIDOS URBANOS
RESIDENCIALES**

LUZ CÁRDENAS JIRÓN
Doctor Arquitecto

Este documento es un resumen de la tesis doctoral "Planificación de la forma urbana con criterios de eficiencia energética. Caracterización de patrones bioclimáticos en tejidos urbanos residenciales" dirigida por la profesora Ester Higuera García y leída por su autora el 17 de Enero de 2011, en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

Mayo / Junio 2012

Director:	José Fariña Tojo
Consejo de Redacción:	
<i>Director</i>	Ester Higuera García
<i>Jefe de redacción</i>	María Emilia Román López
<i>Vocales</i>	Julio Alguacil Gómez (Univ. Carlos III de Madrid), Pilar Chías Navarro (Univ. Alcalá de Henares, Madrid), José Antonio Corraliza Rodríguez (Univ. Autónoma de Madrid), Alberto Cuchí Burgos (Univ. Politécnica de Cataluña), José Fariña Tojo (Univ. Politécnica de Madrid), Agustín Hernández Aja (Univ. Politécnica de Madrid), Mariam Leboeiro Amaro (Univ. Politécnica de Madrid), Rafael Mata Olmo (Univ. Autónoma de Madrid), Fernando Roch Peña (Univ. Politécnica de Madrid), Carlos Manuel Valdés (Univ. Carlos III de Madrid)
Consejo Asesor:	M ^a Teresa Arredondo (Directora de Relaciones con Latinoamérica, Univ. Politécnica de Madrid), Luis Maldonado (Director de la Escuela Superior de Arquitectura, Univ. Politécnica de Madrid), Antonio Elizalde, Julio García Lanza, Josefina Gómez de Mendoza, José Manuel Naredo, Julián Salas, Fernando de Terán
Comité Científico:	Antonio Acierno (Univ. Federico II di Napoli, Nápoles, ITALIA), Miguel Ángel Barreto (Univ. N ^{al} . del Nordeste, Resistencia, ARGENTINA), José Luis Carrillo (Univ. Veracruzana, Xalapa, MÉXICO), Marta Casares (Univ. N ^{al} . de Tucumán, ARGENTINA), María Castrillo (Univ. de Valladolid, ESPAÑA), Mercedes Ferrer (Univ. del Zulia, Maracaibo, VENEZUELA), Fernando Gaja (Univ. Politécnica de Valencia, ESPAÑA), Alberto Gurovich (Univ. de Chile, Santiago de Chile, CHILE), Josué Llanque (Univ. N ^{al} . S. Agustín Arequipa, PERÚ), Angelo Mazza (Univ. Federico II di Napoli, Nápoles, ITALIA), Luis Moya (Univ. Politécnica de Madrid, ESPAÑA), Joan Olmos (U. Politécnica de Valencia, ESPAÑA), Ignazia Pinzello (Univ. degli Studi di Palermo, Palermo, ITALIA), Julio Pozueta (Univ. Politécnica de Madrid, ESPAÑA), Alfonso Rivas (UAM Azcapotzalco, Ciudad de México, MÉXICO), Silvia Rossi (Univ. N ^{al} . de Tucumán, ARGENTINA), Adalberto da Silva (Univ. Estadual Paulista, Sao Paulo, BRASIL), Carlos Soberanis (Univ. Francisco Marroquín, Guatemala, GUATEMALA), Carlos A. Torres (Univ. N ^{al} . de Colombia, Bogotá, COLOMBIA), Carlos F. Valverde (Univ. Iberoamericana de Puebla, MÉXICO), Paz Walker (Univ. de la Serena, Santiago de Chile, CHILE), Fernando N. Winfield (Univ. Veracruzana, Xalapa, MÉXICO)

Maquetación: Antonio Jesús Antequera Delgado: ciur.urbanismo.arquitectura@upm.es

Distribución: Maireia Libros: distribucion@maireia-libros.com

© **COPYRIGHT 2012**

LUZ CÁRDENAS JIRÓN

I.S.S.N. (edición impresa): 1886-6654

I.S.S.N. (edición digital): 2174-5099

Año V, Núm. 82, mayo-junio 2012, 70 págs.

Edita: Instituto Juan de Herrera

Imprime: FASTER, San Francisco de Sales 1, Madrid

DESCRIPTORES:

Tejidos urbanos, comportamientos energéticos, evaluación bioclimática, patrones morfo-climáticos

KEY WORDS:

Urban fabric, energy performance, weatheration assessment, morphoclimatic pattern

RESUMEN:

El microclima urbano es la resultante de una interacción entre la morfología urbana y el medio ambiente; y su estudio importa porque determina las condiciones de confort térmico en los espacios exteriores a la vivienda y por tanto su uso. Se parte del supuesto que la evaluación energética del entorno urbano no se considera en la actividad proyectual de conjuntos habitacionales. Por ello, el objetivo principal de esta tesis fue investigar el comportamiento energético de tejidos urbanos residenciales contemporáneos, aplicado a dos modelos de habitar: la ciudad jardín y la ciudad de bloque. Se postuló que si a una configuración espacial dada, le corresponde un comportamiento energético singular, entonces sería posible descifrar un patrón morfo-climático. El urbanismo bioclimático enmarca el enfoque teórico de la discusión, y el trabajo de campo se situó en un barrio residencial del pericentro en la metrópolis de Santiago de Chile. El método de caso analizó las dos tipologías de tejidos e integró los parámetros bioclimáticos: temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, y vientos para evaluar su desempeño energético. Los resultados demostraron que el rendimiento energético de los tejidos urbanos variaba según la tipología y con ello fue posible descifrar un patrón bioclimático. Este conocimiento es aplicable a la planificación y al diseño urbano sostenible.

ABSTRACT:

Urban microclimate is a result of interaction between urban morphology and environment at micro-scale. Its study relevance lies on thermal comfort in outdoor spaces so habitat. It is assumed that energy performance of urban surrounding is not considered at design stage of architectural project. Main purpose of current research was to study energy performance of residential urban fabric applied to two urbanized models: garden city and Corbusier city. Rationale was if spatial configuration influences energy performance then those models would display a specific one. Thesis stated that *a unique energy performance on each typology of urban fabric would be founded* so a morphoclimatic pattern might be declared. Bioclimatic Urbanism was the theoretical framework and the field work was localized in a residential neighbourhood at pericentre in metropolitan Santiago of Chile. Case study considered two urban fabric typologies in which bioclimatic parameters were measured such as air temperature, relative humidity, solar radiation and wind to assess energy performance. Results showed that energy behavior on each urban fabric changes according to typology and so a morphobioclimatic pattern was

discovered. Knowledge produced by researching might be useful to urban planning and sustainable urban design.



Figura 0. Espacio urbano en el Barrio de Valladolid caracterizado por su baja densidad (Comuna de La Florida, Santiago de Chile)

Fuente: Archivo del autor

CONSULTA DE NÚMEROS ANTERIORES/ACCESS TO PREVIOUS WORKS:

La presente publicación se puede consultar en color en formato pdf en la dirección:

This document is available in pdf format and full colour in the following web page:

<http://www.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/publicaciones/ciurnumeros.html>

ÍNDICE

1	Introducción	06
2	Hipótesis, objetivos y metodología	09
3	Marco conceptual y enfoques teóricos	12
	3.1 El desarrollo sostenible como respuesta a problemáticas globales energéticas.....	12
	3.2 La configuración espacial de la ciudad y el comportamiento energético desde la perspectiva del urbanismo bioclimático.....	16
4	Tipologías de tejidos urbanos en área de estudio: La Florida en la ciudad de Santiago de Chile	22
	4.1 Aproximaciones conceptuales: del tejido a la morfología urbana.....	22
	4.2 Tejidos urbanos residenciales en una comuna representativa de la ciudad de Santiago de Chile: La Florida	23
	4.3 Caracterización morfológica de las tipologías de tejidos urbanos residenciales	29
5	Comportamiento energético de tejidos urbanos residenciales: ciudad jardín versus ciudad de bloque	35
	5.1 Campaña de mediciones, bases de datos, y análisis estadístico	35
	5.2 Análisis integrado de variables bioclimáticas en los tejidos urbanos.....	38
6	Hacia una definición de patrones bioclimáticos	51
	6.1 Irradiación solar y morfología urbana.....	53
	6.2 Comportamiento higrotérmico, vientos y morfología urbana.....	55
	6.3 Proyecciones	59
7	Bibliografía.....	61

1 INTRODUCCIÓN

El alcance de la tesis se enmarca en una interacción entre la morfología urbana y el medioambiente urbano. El manejo de la forma urbana entendida como *forma urbis*¹ mediante la actividad proyectual y que incorpore el conocimiento de su desempeño energético es una cuestión primordial para el desarrollo de las ciudades. En la medida que se comprenda la influencia de una configuración urbanística sobre el microclima urbano y por ende sobre el confort térmico, se podría actuar más favorablemente en la habitabilidad. La observación de la realidad inmobiliaria indica que la prioridad del diseño responde claramente a otros intereses, pues las respuestas arquitectónicas y urbanísticas sensibles a condiciones morfológicas no son evidentes y menos aún a consideraciones ambientales (térmicas, lumínicas, acústicas). (Cárdenas 2010a, Cárdenas 2010b, Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España 2007, De Schiller 2002, De Schiller, Martin Evans 1996, Fariña Tojo 1998, Fariña Tojo 2003).

Frente a la realidad, la pregunta que nace desde la arquitectura es ¿Por qué no incorporar la dimensión ambiental y cómo hacerlo desde la actividad proyectual en un conjunto residencial urbano? Lo que lleva a una segunda interrogante: ¿Cuál es el comportamiento energético de la arquitectura en relación a los espacios exteriores? En la práctica, algunos proyectos inmobiliarios cuando mucho llegan hasta el diseño, pasivo o activo, pero no abordan la calidad del conjunto y menos aún los efectos ambientales en los vecinos. La preocupación ambiental en un contexto más amplio que la evaluación del sitio, es por su naturaleza una materia de interés público más que del interés privado. Por tanto, se pretende que los resultados de esta investigación sirvan de insumo para elaborar una normativa urbanística que oriente a la planificación urbana con criterios de sostenibilidad. La visión ambiental del conjunto de edificios, predios, manzanas y calles forma parte de una área de estudio muy poco explorada: el tejido urbano. De allí surgió el interés personal y profesional de embarcarse en un trabajo intelectual que condujera al conocimiento del desempeño energético térmico en un tejido urbano desde la perspectiva espacial.² Así, aportar desde la disciplina a la comprensión de una mejor habitabilidad para los ocupantes de áreas residenciales, traspasando los límites de tipo presupuestario, etario, de género, etc.; y considerando la equidad social en esta búsqueda.

Por tanto, el objeto de investigación corresponde a un estudio experimental del comportamiento energético térmico en tejidos urbanos típico del pericentro, en la ciudad metropolitana de Santiago de Chile. Las singularidades del contexto chileno en el tema indicaban que la energía en la vivienda ya es materia de política pública y existe un interés creciente por abordar las cuestiones energéticas desde el

¹ Entendido según la definición de Gravagnuolo, quién aborda el espacio urbano desde la tridimensionalidad, que le confiere la cualidad de espacio habitable, y proyectado por los arquitectos. (Gravagnuolo, 1998)

² El énfasis de esta perspectiva se refiere al estudio de lo tridimensional del espacio urbano por sobre la materialidad en la construcción del mismo; en otras palabras los acabados superficiales. No obstante, se reconoce que este último es también uno de los parámetros influyentes en el comportamiento térmico y ampliamente estudiado.

aparato estatal.³ Los estudios, normativas y publicaciones realizados por el Estado, la Cámara Chilena de la Construcción, y universidades señalan que el objetivo de la eficiencia energética en la vivienda es ya una materia abordada en Chile y ampliamente difundida por los documentos técnicos, libros, manuales (Bustamante 2009, CNE 2009, D'Alencon 2008, Ministerio de la Vivienda y Urbanismo 2009, Ministerio de la Vivienda y Urbanismo 2007, Cámara Chilena de la Construcción 2010).

El estado de la cuestión a nivel nacional está centrado actualmente en el objeto arquitectónico denominado vivienda y/o edificios; y resta aun desarrollar todo un campo de estudios e investigaciones que amplíen el espectro y consideren también el entorno urbano a la vivienda o conjuntos de viviendas. Por esta razón, se cree que es muy oportuno difundir los resultados de la presente tesis doctoral en el país para plasmarlo en acciones y documentos guías que aborden también el espacio de la ciudad a través del estudio de los tejidos urbanos. En la actualidad, las ciudades latinoamericanas experimentan crecimientos demográficos y urbanos significativos,⁴ los cuales se basan en modelos físicos de expansión ya utilizados en ciudades europeas y norteamericanas; el modelo de ciudad jardín, y el modelo de ciudad de bloque. Figura 1 (Fariña Tojo, Pozueta Echevarri 1995, Galetovic 2006, Ezquiaga 2010a, Ezquiaga 2010b, Stone 2008, Enguita 2008, Gallion, Eisner 1986, Guerrand, Castrillo Romón 2002).



Figura1. Tipologías residenciales: modelo-ciudad "jardín" y modelo-ciudad de bloque".

Fuente: Luz Cárdenas

Estos modelos representan una forma de ocupación de la ciudad y de habitar que no han sido sometidos a evaluaciones energéticas previamente. Esto significa comprender los intercambios de energía que se producen entre la ciudad y el ambiente, dando como resultado un microclima urbano. Esta investigación cobra relevancia en las ciudades latinoamericanas porque si se conocieran estimaciones de

³ El 1 de Febrero del 2010 se crea el Ministerio de la Energía en Chile mediante la Ley N° 20.402, previamente en el año 2005 se había creado la Comisión Nacional de Energía y el Programa País Eficiencia Energética.

⁴ La tasa de crecimiento demográfico experimentado por Latinoamérica y Chile en el último quinquenio 2005-2010 es de 1,12 % y 1% respectivamente. CELADE (2009) América Latina, indicadores del crecimiento demográfico CEPAL. En www.eclac.cl

algunos efectos, entonces estos se podrían prever y modificar algunas formas de crecimiento en pro del microclima urbano y del gasto energético en la edificación.

Las investigaciones sobre la morfología urbana /natural, las transferencias de energía y el microclima urbano resultante, a escala de la ciudad, se reflejan a través de un fenómeno energético urbano conocido como la isla de calor urbana. Lo original de este estudio radica en la escala de aproximación al problema: escala del tejido urbano⁵, apoyado por la búsqueda de una respuesta disciplinar: el urbanismo desde una visión arquitectónica. Y por otro lado, establecer una comparación de tipo energético entre los modelos físicos de ocupación del suelo urbano desde la perspectiva microclimática.

La isla de calor ha sido cuantificada numerosas veces en distintas ciudades del mundo: Londres, Phoenix, Stuttgart, Barcelona, Ciudad de México, Santiago, Mendoza, etc.; como herramienta diagnóstica de un fenómeno térmico. (De Schiller, Martin Evans 1996, Baumuller 2008, Mills 2008, Landsberg 1981, Moreno García 1993, Jáuregui 1997, Jáuregui 1990, De Schiller, Martin Evans & Katzschner 2001) Sin embargo, la evaluación cuantitativa de la interacción entre el medioambiente construido, los intercambios energéticos y la distribución espacial de la isla de calor en escala de tejidos urbanos, ha sido mucho menos investigado, salvo algunos estudios específicos a nivel de manzanas y calles. (Capeluto 2003, Cárdenas-Jirón, Azar & Teller 2006, Chen, NG 2009, Maizia et al. 2009, Matzarakis, Mayer 2009, Steemers et al. 2002, Pearlmutter, Bitan & Berliner 1999, Ratti, Baker & Steemers 2005, Robinson 2006). La escala de actuación de la investigación es el vecindario⁶, vale decir, un conjunto de manzanas en la cual habita una población residencial y lugar donde ocurre la vida urbana cotidiana; en los espacios arquitectónicos exteriores a las viviendas. Es en esta pequeña escala donde se puede conocer el bienestar térmico del peatón, entender las relaciones entre forma, espacio y microclima para poder intervenir y hacer una ciudad más habitable y sustentable. (Fariña Tojo 2004, Ezquiaga 2010b, Higuera, 1998, Higuera García, Neila González 1997).

Algunos autores establecen que los factores que inciden en la formación de la isla de calor son tres: antropogénico, geometría de los espacios urbanos, y las propiedades térmicas de los materiales constitutivos del ambiente construido. (Jáuregui 1990, Oke 1981, Correa et al. 2004, Santamouris 2001) De ellos, la investigación se focalizará en la geometría de los espacios urbanos y sus intercambios energéticos. Se cree que a través del estudio de la geometría urbana es posible constatar si a un tipo de tejido urbano le correspondería un tipo de comportamiento energético. En virtud de ello, las interrogantes planteadas son las siguientes: ¿Es posible encontrar una interacción morfo-climática asociable a un tipo de tejido urbano?, ¿Cómo y con qué intensidad se manifiesta esta interacción en los

⁵ Hasta ahora, el análisis del comportamiento energético en los edificios reconoce - a través de la literatura - tres escalas de aproximación; la escala del proyecto arquitectónico (Herve), la escala del proyecto urbano (Teller, 2000) y la escala de la ciudad (Howard, Londres) 1833 hasta Stone, 2008 (*US cities*), Oke, (1988)

⁶ Se entenderá por barrio a un conjunto de manzanas con una extensión física entre 3 y 5 hectáreas y una población residente equivalente a una unidad vecinal con 500 habitantes aproximadamente; en el cual realizan actividades comunes en los espacios exteriores estableciendo así un tejido de relaciones sociales.

distintos tipos de tejidos urbanos?, ¿Existen diferencias verificables de tipo morfológico y energético entre los tejidos urbanos?, y por último, ¿Cómo y con cuáles herramientas se podría estimar una evaluación energética en un lenguaje amigable con la disciplina de la arquitectura y el urbanismo?

2 HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Para responder a las preguntas de investigación se plantea una hipótesis de trabajo que consiste en verificar el supuesto siguiente: *"A cada tejido urbano le corresponde un comportamiento energético peculiar, entonces es posible determinar un patrón morfo climático."*

En breve, el tema presentado en esta investigación trata del comportamiento energético de la forma urbana a través del estudio de tejidos urbanos y la tesis a demostrar es si existen diferencias significativas de tipo energético en tejidos urbanos, las cuales puedan ser asociadas a un patrón bioclimático. Una clasificación morfológica de los tipos de tejidos urbanos planificados, característicos de la ciudad de Santiago, indica tres: manzana cerrada, ciudad jardín, bloque abierto. Los dos últimos tipos de tejidos corresponden a modelos de crecimiento contemporáneo, por ello serán el objeto experimental para demostrar la hipótesis de trabajo planteada. Por tanto, el objetivo general es llegar a caracterizar tejidos urbanos en función de un comportamiento energético. Para lo cual se examinará la interacción entre la configuración espacial urbana y los parámetros bioclimáticos en diferentes tipos de tejidos urbanos, y mediante instrumentos informáticos de modelación y de medición. Los parámetros bioclimáticos a estudiar son la radiación solar, la temperatura, la humedad relativa del aire y el viento. Entre los objetivos específicos se definen los siguientes:

- Estudiar los efectos diferentes de configuraciones espaciales urbanas sobre el comportamiento térmico de los espacios exteriores según tipo de tejido urbano.
- Comparar los tejidos urbanos residenciales empleando los mismos métodos y la misma referencia horaria (hora, día, mes, año).
- Caracterizar el comportamiento de irradiación y térmico en los espacios exteriores, a través de simulaciones computacionales.
- Monitorear parámetros meteorológicos característicos de un microclima.
- Descifrar un patrón morfo-climático.
- Sensibilizar al arquitecto y al planificador urbano respecto del efecto de la morfología urbana sobre el microclima urbano y por tanto, en el consumo energético de edificios.

La metodología propuesta para validar la tesis consistió principalmente en el método inductivo a través de un estudio empírico en tejidos urbanos sobre el cual observar, medir y llegar a concluir proposiciones generales o patrones de comportamiento. Los resultados se interpretaron mediante las leyes de la física para explicar el comportamiento termodinámico observado en los tejidos urbanos. El proceso se inicia con la observación y cuantificación de un fenómeno microclimático conocido:

la isla de calor, que se constituye en un problema para alcanzar el confort térmico urbano y consecuentemente la habitabilidad en los espacios urbanos. La metodología propuesta contempla evaluar teórica y empíricamente el comportamiento energético en los espacios exteriores de tejidos, para ello, herramientas analíticas, instrumentos de medición y técnicas de recogida y procesamiento de datos fueron desarrolladas. Las herramientas analíticas utilizadas fueron simulaciones computacionales (*software*), los instrumentos de medición utilizados fueron termo-higrómetros digitales, y las técnicas de recogida de datos consistieron en una campaña de mediciones en terreno y selección de bases de datos de estaciones meteorológicas oficiales nacionales.⁷ Las mediciones de terreno se normalizaron en base a datos de las estaciones meteorológicas.

Entre las herramientas analíticas, y dada la alta variabilidad del comportamiento térmico en el tiempo y en el espacio (día /noche; invierno/verano, ciclos climáticos, espacios abiertos cerrados, etc.); se revisaron previamente diversas herramientas novelísticas espaciales que simulan la realidad. También se revisó una diversidad de modelos matemáticos; - sin y con despliegues gráficos - modelos físicos a escala tal como el Solar Decatlón (Neila González, Higuera 2007); maquetas con túneles de viento, *container* para simular radiación solar y modelos informáticos de escritorio que pueden simular la realidad a través del uso de un PC (*The Martin Centre for Architectural and Urban Studies* 2010, Matzarakis, Mayer 2009, Yarke et al. 2004, Santamouris 2004, Klem, Heim 2009, Knowles, Villecco 1980, Littlefair et al. 2000, Hang, Sandberg & Li 2009, Iwasaki et al. 2009). Entre estos últimos, lanzados a partir del 2000, surgen modelos para análisis espacial de escala arquitectónica y urbanística, vinculado con la energía solar, tales como: ECOTECT, RADIANCE, SUSTARC, TOWNSCOPE, SUNTOOL, GEOSOL, RAYMAN, etc. Las técnicas de levantamiento y procesamiento de la información consideraron una campaña de mediciones en terreno consistentes en observaciones y registros de parámetros bioclimáticos tales como la temperatura del aire, la humedad relativa del aire, con instrumental técnico de precisión. Las observaciones en terreno se realizaron durante los períodos extremos de comportamientos térmicos: solsticio de verano y solsticio de invierno en un fragmento de tejido urbano residencial en la ciudad de Santiago de Chile. Dos tipos de días fueron seleccionados para las observaciones en terreno: un día laboral, y un día de fin de semana; recogiendo medidas en cuatro series de tiempo diurno: 8:00hrs, 12:00hrs, 16:00hrs y 20:00hrs. Adicionalmente, conteos de tráfico se levantaron para determinar las condiciones antropogénicas externas, relativas a los flujos vehiculares y su eventual influencia térmica.

Dado que la climatología urbana es una ciencia que emplea técnicas estadísticas para el análisis de los datos; se recurre a la estadística para el análisis de las observaciones de terreno, realizado durante los años 2005, 2006 y 2007. El conjunto de observaciones suma un total de 352 para los tejidos B en solsticio de verano y un total de 512 para los tejidos J en solsticio de verano, lo que asciende a un total de 864 mediciones que incluyen temperatura del aire (°C) y humedad relativa (%). La diferencia numérica de las observaciones entre ambos tejidos; corresponde a un mayor número de puntos observados en los tejidos de ciudad

⁷ Entre ellas se encuentra la Dirección Meteorológica de Chile, el CENMA (Centro Nacional del Medioambiente) dependiente de la Universidad de Chile, y la red MACAM operada por la SEREMI Metropolitana de Salud.

jardín respecto a los tejidos del bloque Corbuseriano, pues estas últimas son áreas de menor tamaño. Se emplea el software STATGRAPHIC para análisis y despliegue estadístico. Las mediciones de terreno procesadas estadísticamente también se desplegaron en formato espacial, empleando los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para analizar la distribución espacial de los parámetros.

De esta forma, se pudo conocer el comportamiento energético en un área residencial representativa de la ciudad de Santiago de Chile, localizada al sur oriente e inserta en la comuna de La Florida. La morfología urbana de esa área fue estudiada a partir de los tejidos urbanos característicos de la ciudad, distinguiendo al menos dos categorías presentes en la ciudad en expansión: el tipo de ciudad jardín y el tipo de la ciudad moderna. La superposición de ambos componentes: el comportamiento energético y la morfología urbana, mediante el uso de *layer* y otras representaciones espaciales tridimensionales, permitió analizar cada tipo. La búsqueda de un patrón morfológico -. bioclimático, se concretó a partir del análisis de cada caso y de la relación entre los pares de casos análogos y disímiles. Así se obtuvo finalmente una caracterización de los tejidos residenciales urbanos y se descubrió la existencia de un patrón. Debe mencionarse que la metodología mediante el estudio de caso no pretende generar leyes universales respecto a los resultados observados sino más bien es una exploración para descubrir singularidades sobre las cuáles postular nuevas hipótesis que sirvan de base a investigaciones futuras, y traducirlos operativamente a recomendaciones de diseño urbano y de planificación urbana local en los instrumentos normativos.

3 MARCO CONCEPTUAL Y ENFOQUES TEÓRICOS

Para abordar la discusión bibliográfica se examinaron los conceptos fundamentales y distintos enfoques teóricos existentes en la materia que dieron luces respecto al estado de las artes y su consecuente aporte al estado del conocimiento por la presente tesis. En este resumen de tesis se presentara solamente una revisión general del marco conceptual (desarrollo sostenible) y selección del enfoque teórico rector (urbanismo bioclimático) que subyace en la revisión bibliográfica de investigación empíricas efectuadas en una microescala de la ciudad. Para ello, se presenta en primer lugar, el problema global del calentamiento global y crisis energética, esta última derivada del agotamiento de los recursos fósiles como fuente habitual de energía. En segundo lugar, analizar las últimas investigaciones relacionadas con la configuración espacial de ciudades y el comportamiento energético, en particular la isla de calor.

3.1 El desarrollo sostenible como respuesta a problemáticas globales energéticas

El desarrollo sostenible es una modalidad de desarrollo ratificada oficialmente por la mayoría de los países del mundo en el Encuentro Mundial sobre el Medio Ambiente realizado en Río de Janeiro en 1992. A partir de ese encuentro resultó la Agenda Local 21. (Higueras García 2002, Barton, Davies & Guise 1995, Fariña Tojo 2004, CEC 1990, United Nations 2009, United Nations 2010). El desarrollo sostenible se basa en un enfoque tripartito que comprende la consecución de objetivos simultáneos tales como la productividad económica, la equidad social y la protección del medio ambiente. El medio ambiente a su vez comprende la integración armónica del ambiente construido y el ambiente natural; en la cual la ciudad es concebida como un ecosistema. (Bettini 1998, Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España 2007, Fariña Tojo 1998, Fariña Tojo 1990, Girardet 1992, Higueras García 2001, Hough 1998, Hough 1995).

Desde la perspectiva ambiental se reconocen hoy en día en las ciudades del mundo entero una serie de problemáticas similares que varían de enfoques si estos se localizan en países desarrollados o en vías de desarrollo. Entre los primeros existen necesidades más elaboradas tales como por ejemplo, el manejo más eficiente de la energía, en cambio entre los segundos existirían necesidades más básicas como por ejemplo, la dotación y cobertura de infraestructura energética. (Higueras 2006). Por otro lado, se identifican problemáticas de escala global que tienen sus raíces en la escala local como el calentamiento global del planeta y la creciente escasez de recursos fósiles, que deben asumir los países desde la base de su administración territorial, el gobierno local. De hecho el eslogan del desarrollo sostenible en el encuentro de Río fue: *"piense globalmente, actúe localmente"* (United Nations 2009).

La teoría del pico de Hubbert del geofísico norteamericano y tendencias actuales demuestran que el agotamiento de los recursos energéticos fósiles y de gas natural es una realidad, toda vez que en algunos países ya se llegó al cenit en la producción del petróleo y ha comenzado su descenso. Lo anterior significa el inicio de una

nueva era en la cual fuentes energéticas basadas en el consumo de petróleo y gas natural tendrán su ocaso en las próximas décadas. La era de ciudades post-carbono en el siglo XXI. Con lo cual el estudio de alternativas energéticas tales como las llamadas Energías Renovables No Convencionales⁸ representan una alternativa viable y en consecuencia requiere de investigaciones que las incorporen en la ciudad. Adicionalmente, las emisiones de CO₂ al ambiente y la huella de carbono comienzan a regir las actuaciones. (CNE 2009, Core Writing Team, Pachauri & Reisinger 2008, Fariña Tojo, Naredo 2010). A nivel global se acusan como problemas centrales el calentamiento global de la tierra, la destrucción de la capa de ozono, el crecimiento de la huella de carbono, la utilización de recursos no renovables, como son los combustibles fósiles derivados del petróleo y su consecuente contaminación de la biosfera, el agotamiento de los recursos energéticos fósiles, etc. El calentamiento global de la atmósfera terrestre responde a un aumento de la temperatura media ambiente a través de las últimas décadas, con lo cual se alteran la vida de todos los ecosistemas y elementos bióticos y no bióticos. Las causas del calentamiento global respondería a dos vertientes explicativas: una derivada de la acción antrópica ocurrida principalmente en las ciudades industrializadas y otra derivada de un proceso natural de cambio de la Tierra asociado a sus ciclos. (Gore 2007, Lawson 2009).

Para efectos de esta investigación se considera en el estudio la primera causa dado que está directamente ligada a la disciplina: la arquitectura y el urbanismo. En este sentido, la industrialización en la ciudad conlleva empleo de energía para el desarrollo de actividades económicas, necesidad de transportar bienes y servicios, y construcción de edificaciones. Lo anterior genera emisiones de CO₂ a la atmósfera producto de emisiones de la industria y el transporte, pero también disipa calor producto de las emisiones infrarrojas de las construcciones. Este fenómeno produce un calentamiento sobre la capa de la atmósfera baja que se encuentra arriba de la ciudad, y se presenta, como un domo imaginario sobre ella alcanzando una temperatura mayor que el campo que la rodea. Esta diferencia en las temperaturas es conocida como el fenómeno de "isla de calor" y ha sido largamente estudiado en la Climatología urbana. (Mills 2008, Landsberg 1981, Moreno García 1993, Jáuregui 1997, Velazquez-Lozada, Gonzalez & Winter 2006, Unger, Balazs & Gal 2009). En Chile, existen algunas tesis sobre islas de calor y urbanización a una escala regional urbana, estudiando el fenómeno en ciudades grandes y medianas tales como Valparaíso, Santiago, Temuco. (Romero et al. 2008, Sarricolea, Romero 2008). Estos estudios han sido efectuados por geógrafos a una escala macro, quedando sin investigar el campo del urbanismo en la micro escala urbana y de barrios, en particular los espacios urbanos.

Sin embargo, numerosas investigaciones se han desarrollado en esta línea tratando no solo de describir y cuantificar el fenómeno de la isla de calor, sino que también explorarlo en una microescala a partir de la *forma urbis* en la ciudad. (Baumuller 2008, Bretz, Akbari & Rosenfeld 1998, Correa, Flores & Lesino 2003, Gartland 2008, Giridharan, Kolokotroni 2009, Giridharan, Ganesan & Lau 2004, Moriyama, Nakaya & Tamaka 2009, Ren, Ng & An 2009). Otros investigadores

⁸ ERNC Energías Renovables no Convencionales son energías alternativas a las fósiles y renovables, entre las cuales se encuentran la energía solar, la energía eólica, la energía geotermia, la energía hidráulica, la energía mareomotriz, la biomasa.

tratan el fenómeno ligado a medidas paliativas a incorporar en la planificación urbana y el diseño urbano (Akbari 2009, Stone, Norman 2006, *United States. Environmental Protection Agency. Office of Air and Radiation, United States. Environmental Protection Agency. Office of the Administrator & Smart Growth Network* 2003, Martin Evans, De Schiller 1996, De Schiller, Martin Evans 1996). La propuesta teórica frente a los problemas mencionados, desde la disciplina de la presente investigación, consiste en la construcción de una ciudad sostenible. Entre las vías de solución se encuentra el concepto de metabolismo circular que pretende revertir la forma actual de funcionamiento de las ciudades, conocida como el metabolismo lineal, que no degradan materia y que transforma energía dejando sistemas abiertos o lineales. El diálogo entre la naturaleza y la ciudad que entienda los ciclos inherentes en la naturaleza, junto con la visión de ecosistema, se presentan como una cuestión clave. (CEC 1990, Girardet 1992, Hough 1995, Fariña Tojo 2003, Fariña Tojo 2001, De Luxan 2010).

En este contexto cobra relevancia el manejo eficiente de la energía como uno de los tópicos a tratar para la planificación y el diseño urbano del siglo XXI que se encamina hacia la sostenibilidad del ambiente. De hecho en la última Cumbre Mundial del Medio Ambiente sostenida en Johannesburgo, se menciona explícitamente como un tópico a incorporar en las agendas políticas. Por otro lado, en las Conferencias del PLEA se va extendiendo cada vez más el interés por esta visión urbanística. (PLEA 2001 al 2010)⁹. En este marco, el urbanismo bioclimático surge como el referente conceptual más apropiado y plenamente vigente para enmarcar la discusión conceptual. A partir de allí, Higuera propone prácticas (Normativas) sobre los vacíos que existían en el urbanismo en relación al nexo con el medio ambiente; junto con la necesidad de incorporar estos criterios en la toma de decisiones. (Higuera, 2006).

El tema energético está ligado a tres áreas de desarrollo según sea la fuente de consumo: el transporte, los procesos industriales, y el acondicionamiento térmico para habitar un espacio. Este último segmento representa alrededor de un 50% del consumo total, lo que realza la necesidad de estudiar esta área. (Baker, Steemers 2000). En Chile, un país en vías de desarrollo, este segmento representa alrededor de un 30%, por tanto es significativo su estudio y actualmente el tema de la eficiencia energética en los edificios forma parte sustancial de las políticas energéticas en Chile. (CNE 2009). El acondicionamiento térmico requiere de un consumo energético sea para calefaccionar o para enfriar un espacio y así lograr el equilibrio térmico humano: el confort térmico. Frente a ésta necesidad existen respuestas arquitectónicas variadas de tipo pasivo basadas principalmente en el diseño y la construcción de un proyecto arquitectónico, que consideran las características del entorno climático. (Alvarez Domínguez, Universidad de Sevilla Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos. Grupo de Termotecnia 1992, Neila González, Bedoya Frutos 1997, Givoni 1981; 1976, Givoni 1998, Rogers 2000, Goncalves et al. 2004, Fuster Rufilanchas 2005, Bustamante 2009, D'Alencon 2008, Neila González 2010, Neila González, Higuera 2007).

En arquitectura bioclimática se priorizan los sistemas pasivos sobre los sistemas activos o mecánicos, pues los primeros tienden a ocupar energías renovables y no

⁹ PLEA: Passive and Low Energy Architecture Conference

contaminantes; en cambio en los segundos existe un aumento en el consumo de energía junto con una contaminación atmosférica. (ejemplo: dispositivos de refrigeración). Entre los contaminantes atmosféricos se encuentran gases que destruyen la capa de ozono y otros llamados de efecto invernadero con lo cual se contribuye a mantener el círculo vicioso de aumento de energía en base a recursos no renovables y el aumento de la contaminación atmosférica. Con ello, se proyecta un desarrollo no sostenible. Sin embargo, hay otro campo de extensiva exploración en las últimas dos décadas orientada al diseño urbano y la planificación y tiene que ver con el análisis de energías renovables no contaminantes del entorno urbano, como son el sol y el viento. (Akbari 2009, Fariña Tojo 2001, Alvarez 1991, Golany 1996, Knowles 2003, Erell, Williamson 2006b, Andreou, Axarli 2009, Klem, Heim 2009, Masuda, Takebayashi & Moriyama 2009). Estos elementos han sido tratados teórica y empíricamente en la literatura; ya sea en casos aislados, como por ejemplo una calle, una plaza, o un cañón urbano, pero insuficientemente aplicado al diseño urbano en su conjunto¹⁰, salvo escasas excepciones en propuestas de normativa urbanística en el contexto europeo y sudamericano. (Higueras 2006, Goncalves et al. 2004, Capeluto 2003, Cárdenas-Jirón 2009, De Schiller 2002, Littlefair et al. 2000, Ratti, Baker & Steemers 2005, Steemers et al. 2002, Teller 2001, Yezioro, Capeluto & Shaviv 2006).

El estudio de los flujos entrantes y salientes del ecosistema urbano tales como la radiación solar e infrarrojos son materia frecuente en las investigaciones más recientes y ponencias a Congresos de la materia. (PLEA 2005; PLEA, 2010; CISBAT, 2009; ASADES, 2010) (Klem, Heim 2009, Masuda, Takebayashi & Moriyama 2009, Matzarakis, Mayer 2009, Yang, Li 2009, Yim et al. 2009). Dada la complejidad de su visualización en un espacio continuo y la estimación de su magnitud, es que se emplean habitualmente modelos matemáticos, físicos, algoritmos, y herramientas informáticas de visualización espacial. Se desprende que habría un potencial de conocimiento aplicable a la ciudad de Santiago de Chile, que justificaría investigarse a través de metodologías operativas al diseño urbano y la planificación. Estas metodologías consideran herramientas de evaluación cuantitativa en tejidos urbanos de la ciudad, que podrían difundirse y así, facilitar su aplicación futura a normativas urbanísticas y ambientales. Otra ventaja de las herramientas de simulación computacional es la posibilidad de realizar una evaluación *ex antes* de la construcción de un proyecto arquitectónico o urbanístico que sirva de apoyo a la toma de decisiones y optimización de costos. (Teller, Sleiman 2001, Katzschner 2000, Kanevski, Maignan 2004, Santos Preciado 2002, Santos Preciado 2008). El estado de la cuestión indica que existe gran cantidad de estudios e investigaciones orientados hacia el conocimiento de la eficiencia energética en los espacios interiores y menos en los espacios exteriores. (CChC, 2010; Bustamante, 2009; CNE, 2009; CSCAE, 2007; D'Alencon, 2008; Givoni, 1998). Estos últimos se caracterizan por ser más complejos toda vez que no son compartimentos "estancos", acotados, claramente definidos como puede ser una envolvente arquitectónica, sino que presentan gran variabilidad y dinamismo.

Es por ello que se recurre a la modelación, apoyada por la informática, pues permite abordar y evaluar cuantitativamente y cualitativamente parámetros

¹⁰ Se refiere al tratamiento del espacio urbano continuo característico de un tejido urbano compuesto por algunas manzanas, parcelaciones, patios y tipologías edificatorias

urbanísticos ligados a condicionantes climáticas y meteorológicas del entorno. En la modelación se considera la simulación física en base a modelos tridimensionales y parámetros geométricos estáticos (como H/W , *sky view factor*, etc.); como también aquella simulación basada en algoritmos matemáticos. Entre algunos de ellos se encuentra el Laboratorio Nacional de Berkeley en Norteamérica, el Tecnológico en Israel, el Instituto de Ingeniería y Tecnología en Portugal, el Laboratorio de Estudios y Metodologías Avanzadas en Bélgica, el Centro Martin de Cambridge, etc. No obstante, las formas de representación espacial de las características climáticas en espacios abiertos se basan normalmente en una proyección plana. Solo recientemente, es posible encontrar modelos informáticos que son capaces de analizar tridimensionalmente el espacio urbano como una entidad continua, en vez de discreta. Para ello se emplea la proyección esférica (visión ojo de pez) en la versión estereográfica (Steemers et al. 2002, Teller 2003, Juchmes, Leclercq & Azar 2005).

Los intercambios energéticos entre el cuerpo humano y su entorno físico para alcanzar un balance térmico es lo que se conoce como la bioclimática. Los fundamentos teóricos de la bioclimática son un aporte para el análisis del microclima urbano y el confort humano, pues revelan técnicas para conocer y prever las respuestas adaptativas del ser humano frente a necesidades de consumo energético. (Givoni 1976, 1981; 1976, Olgyay 1963). Como complemento a lo anterior, se encuentra la climatología urbana que estudia los efectos de la urbanización sobre los cambios de temperatura y calor conocido como la isla de calor, que opera normalmente a una escala mayor urbano-regional. (Jáuregui 1979; Landsberg 1981; Oke 1981; Moreno García 1993; López Gómez y col. 1993; Fernández García 1996; Arnfield 2003; Athamena 2008; Gartland 2008). Por otro lado, en el campo experimental, investigadores en el norte de Europa, Reino Unido, están trabajando con modelación numérica y herramientas metodológicas computacionales que permitan cuantificar los efectos entre microclima urbano y morfología urbana. El supuesto de investigación de estos grupos es que la creación de condiciones térmicas favorables en espacios exteriores (*outdoor spaces*) de la ciudad, puede influir en una reducción de la demanda energética en espacios interiores junto con incentivar el uso del espacio público. (Asimakopoulos 2001, Santamouris 2006, Steemers, Steane 2004, Rodríguez 2009a, Rodríguez 2008)

3.2 La configuración espacial de la ciudad y el comportamiento energético desde la perspectiva del urbanismo bioclimático

La diversidad térmica urbana es una característica fundamental observada en las investigaciones que relacionan la forma urbana con el microclima y el confort. (Steemers, Steane 2004). Esto significa que la amplia gama de variaciones micro climáticas y por ende de confort térmico varía según sea la configuración espacial de la ciudad. Desde una perspectiva de la planificación y el diseño urbano, dichos autores afirman que la geometría de la forma urbana tiene un importante efecto en el microclima y confort, pero que no ha sido estudiado en su real dinámica de comportamiento. Argumentan que el vínculo habitual entre la morfología urbana y el comportamiento energético es muy simplista, pues normalmente se presenta la isla de calor como un efecto resultante de esa interacción. Critican el análisis

estático de la isla de calor en la medida que se registra el pico de la diferencia de temperatura máxima entre el área urbana y el área rural al atardecer, luego de la puesta del sol (Δt_{\max}).

Estos autores presentan evidencias de que no ocurre lo mismo durante las mañanas o al mediodía en que la diferencia de temperatura entre el área urbana y el área rural puede ocurrir a la inversa o simplemente no existir una diferencia significativa entre las áreas. En las mañanas en calles con un ratio H/W alto, o de geometría estrecha, vale decir con un predominio de la altura por sobre el ancho de la calle, la temperatura del aire ambiente en la ciudad puede ser más baja que la temperatura del aire ambiente en el campo. Un ejemplo de ello lo constituyen ciudades de Andalucía y Marruecos. Al respecto, Steemers *et al.* afirman que la sombra representaría un factor de mayor relevancia que la mera relación entre el ancho de la calle y el alto de la misma para determinar condiciones térmicas en un espacio exterior. Esta configuración se ha empleado en las ciudades europeas de latitudes bajas tales como Sur de España, Grecia, Sur de Italia, etc.; precisamente para impedir la entrada de radiación solar, acumulación en masa y ulterior emisión de radiación infrarroja. De esta manera se evita el stress térmico humano por exceso de calor. La sombra cumpliría un papel preponderante, pues si se considera que 1°C equivale aproximadamente a unos 70 W/m^2 , entonces 1000W/m^2 equivalen a unos 14°C aproximadamente. Lo anterior significa que una reducción de la radiación solar incidente mediante sombras, produciría una reducción de la temperatura del aire ambiente también. Autores clásicos como Oke y Arnfield establecen que los dos parámetros principales influyentes del clima urbano son la geometría urbana y las propiedades térmicas de las superficies urbanas. (Arnfield 2003)

Al respecto, la investigación de Johansson en Marruecos ratifica esta aseveración. (Johansson 2006) El estudio investiga la influencia de la geometría urbana en el confort térmico exterior en un clima seco caluroso como es Fez, en Marruecos. Para ello realiza mediciones en terreno de temperatura del aire, temperatura de la superficie, humedad relativa y vientos, en invierno y verano en los cañones urbanos de dos tipos de forma urbana: la ciudad compacta y la ciudad dispersa. En el centro de la antigua ciudad se encuentra un trazado orgánico, irregular, de calles muy estrechas, peatonales, 1,5 m a 2,5 m de ancho y 3 a 4 pisos de altura los edificios, densamente poblada, el edificio ocupa la totalidad de la parcela, con sombras durante algunas horas del día, y escasos espacios públicos abiertos, como calles o patios en la zona del zoco y la mezquita. En cambio, la ciudad planificada por régimen colonial francés, es de más reciente construcción, uniforme en el trazado de calles y altura de edificios, con una ocupación parcial de la parcela, edificios de 2 a 3 plantas semipareado, con patios adelante y detrás del edificio, calles anchas para el tráfico vehicular. Esta configuración espacial recibe radiación solar global permanentemente en casi todas las direcciones. La elección de estos dos vecindarios consideró también que los materiales de las superficies fueran similares (cemento y ladrillo, hormigón y asfalto) y que no tuvieran prácticamente fuentes de calor artificial. Por otro lado, el tráfico vehicular no es muy intenso y por tanto su impacto en el vecindario residencial sería marginal. Las calles donde colocaron los equipos de monitoreo de datos tienen un ratio W/H muy distinto; en el vecindario de la ciudad compacta llega a los 9,7 (“cañón profundo”),

en cambio en la ciudad dispersa alcanza los 0.6 ("cañón plano"). Los resultados encontrados revelaron que el "cañón profundo" tenía temperaturas más bien bajas y estables comparadas con el "cañón plano", que registraba mayores y altas variaciones de temperatura. La explicación de este comportamiento térmico radica en los intercambios de radiación del cañón urbano según su geometría. Esta geometría determina el factor de cielo visible; el cual es más reducido en el primer caso, con la consecuente reducción de la radiación solar entrante diurna y disminución del enfriamiento radiativo nocturno. En cambio en el otro cañón, el factor de cielo visible es mucho mayor, lo que significa un aumento de la radiación solar entrante, pero también un aumento de la disipación de calor nocturna o re-irradiación nocturna. Se concluye que la ciudad compacta se adaptaba mejor al confort térmico en verano, pero era muy inconfortable en invierno, porque no tenía prácticamente acceso solar, pero que podría ser subsanado con algunas aperturas de espacios abiertos. La orientación de la calle no registró diferencias significativas en las temperaturas del aire del vecindario compacto, salvo en las temperaturas de la superficie en las fachada norte durante las horas de radiación solar directa.

Steemers *et al.*, proponen un nuevo modelo basado en el "grado de encerramiento" DoE ¹¹ como una aproximación más cercana a la diversidad de situaciones micro climáticas que ocurren asociadas a morfología urbana. La diversidad espacial estaría determinando los microclimas al interior de las ciudades y esto se manifiesta en el palio urbano. Destacan el hecho del modelo teórico propuesto por Oke, un cuarto de siglo antes, como una visión desde la climatología en la cual predominan los estudios en la "capa límite urbana". (*boundary layer climate*). En cambio estos arquitectos proponen un nuevo modelo centrado fundamentalmente en el análisis morfológico al interior de la capa del palio urbano (*urban canopy layer*) Con esta finalidad, parten analizando las superficies contenedoras de un espacio, sean estas opacas o abiertas, y definen un ratio llamado DoE. Este ratio fue aplicado, recientemente, para el análisis de espacios intermedios y abiertos tales como porche, galerías, pórticos, subterráneos y espacios abiertos. Al relacionar estos tipos formales con las fluctuaciones de temperatura, descubrieron que hay una relación inversa. En la medida que el grado de encerramiento del espacio intermedio es menor, hay una fluctuación mayor de temperaturas, y viceversa. Concluyeron que desde la perspectiva de la planificación y el diseño urbano, la geometría de la forma urbana tiene un efecto importante en la diversidad térmica del palio urbano. El grado de encerramiento está determinado por el factor de cielo visible.

Otro parámetro fundamental analizado en este apartado fue el movimiento del aire, ya sean brisas o viento. Al respecto, la noción de "sombra de viento" ¹² parecería más útil que el análisis de los flujos predominantes solamente. Para ello desarrollan herramientas visuales de representación planimétricas que integran el factor de cielo visible, la sombra de vientos y las fluctuaciones de temperatura. (Ratti, Baker & Steemers 2005). En suma, los autores emplean para el análisis de las condiciones térmicas en espacios exteriores y semiexteriores tres parámetros: la

¹¹ En inglés DoE, "*degree of enclosure*", que incorpora también los envolventes de la superficie de techumbre, además de suelos y muros.

¹² Sombra de viento se refiere al espacio protegido del viento dominante, por medio de los volúmenes edificados.

temperatura del aire ambiente, la luz solar, y el viento. A partir de ello, y un tratamiento estadístico de los datos mediante correlaciones, trabajan con modelaciones matemáticas teóricas y monitoreo de mediciones realizadas en los espacios construidos y no construidos. Se concluye que esos parámetros contribuyen a una mejor caracterización térmica de los espacios abiertos que la sola relación altura y ancho del cañón urbano. (H/W). Además sugieren otras consideraciones para el análisis de la geometría urbana tales como la orientación y escala del espacio urbano. En suma, la diversidad térmica del ambiente construido en el palio es una función de la forma urbana. Se deduce entonces que la arquitectura y el urbanismo pueden influir en el microclima urbano de un modo significativo.

En Israel, otros investigadores analizan los componentes de balances energéticos en cañones urbanos sobre un tejido urbano compacto. En la región central desértica del Negev en Israel, realizan estudios empíricos y simulaciones teóricas de confort térmico humano en el interior de una calle y sobre el techo de una vivienda. (Pearlmutter, Bitan & Berliner 1999, Shashua-Bar, Hoffman 2003). Esos estudios emergieron como respuesta a una búsqueda morfológica urbana contemporánea, adecuada al clima desértico, pues proyectos de diseño urbano en vecindarios residenciales importaban tipologías de "ciudad jardín" desde Europa. Estas tipologías parecían inapropiadas al clima local por presentar stress térmico comparado con las tipologías tradicionales de la cultura local como la "casa patio"¹³ en la ciudad de Dimona. Los estudios de balance de energía precedentes focalizaban en terrenos urbanos, o en perfil de cañones urbanos, y lo innovador fue considerar un cuerpo cilíndrico que simulaba un cuerpo humano en el interior del cañón. Los parámetros monitoreados fueron los siguientes: la temperatura del aire, la humedad relativa, velocidad del viento y dirección, radiación global, radiación neta, y temperatura de superficie radiante. Los resultados indicaron que al inicio del día, el cañón urbano de un tejido compacto se transformó en una "isla de frío" para un cuerpo humano debido a las sombras en su interior, pero al final de la tarde, se transforma en una trampa de calor por la absorción de la radiación difusa y reflejada diurna, junto con la emisión del infrarrojo que acumuló la masa edificada durante el día. En conclusión, esta investigación realizó registros experimentales en dos calles de un tejido urbano compacto para comparar los resultados de un espacio semicerrado con un espacio abierto situado en el techo de la vivienda. Del análisis de los resultados monitoreados versus los calculados, mediante un modelo numérico, revela la naturaleza relativa del stress térmico impuesta por la geometría del cañón.

En los años 1980, un arquitecto norteamericano difunde estudios relativos a la orientación de la calle y que clarifican el análisis de la radiación solar como también los vientos. Al respecto, Knowles realizó un estudio en el tejido de calles y edificios de un pueblo llamado Acoma en Nuevo Méjico en el cual analizó estos parámetros en función de la orientación del "cañón urbano". Para este autor, la relación forma urbana y clima se explica en gran parte por la configuración espacial de la calle y su orientación. (Knowles 1974, Knowles, Villecco 1980). En efecto, sus estudios indican que las calles con orientación Norte Sur reciben una mayor radiación anual que las

¹³ casas adosadas en hilera, de un piso, con patio de acceso entre muros, calles de acceso peatonales estrechas (3 metros de ancho), manzanas con alta ocupación de suelo, y alta densidad.

calles en dirección Oriente Poniente. Esta situación se explica por el azimut, pues en los meses cercanos al solsticio de invierno, las calles en dirección Este-Oeste, no reciben la radiación solar directa, particularmente en la acera norte. (Localizado en el hemisferio Sur).¹⁴ En cambio, durante los meses cercanos al solsticio de verano, reciben la radiación solar directa algunas horas de la mañana y algunas horas de la tarde en latitudes medias. Lo cual puede ser beneficioso para el ser humano en verano poder contar con aceras de sombra, pero perjudicial en invierno cuando se requiere acceso a la radiación solar, por razones de confort térmico y gasto energético en los edificios y espacios urbanos.

En el 2000 se sugieren nuevos parámetros para el estudio de la relación forma urbana y comportamiento energético de edificios. Investigaciones de autores sajones realizan estudios comparativos de tejidos urbanos en algunas ciudades europeas: Londres, Toulouse y Berlín. (Ratti, Baker & Steemers 2005) Mediante herramientas de información geográfica SIG, en base a modelos raster, y algunos algoritmos analizan los espacios construidos y no construidos de tejidos con diferentes configuraciones morfológicas entre ellos. Corresponde a un estudio paramétrico en el cual asumen algunos parámetros constantes y otros variables, aquellos relacionados con la morfología urbana. Los supuestos iniciales para realizar la comparación entre los tejidos fueron dos: que las tres ciudades tenían un clima similar y que el material de la envolvente correspondía a un sistema constructivo estándar, de modo de excluir variables explicativas asociadas al clima y al aislamiento térmico de la envolvente. El objetivo de estos autores fue examinar el efecto de la textura urbana en el consumo energético de edificios. Si bien el objetivo de estos autores no era examinar el comportamiento energético de los espacios exteriores, sino el consumo energético de los espacios interiores, es importante mencionarlo porque emplean dos parámetros que son determinados por la forma arquitectónica y urbana. Estos parámetros fueron el ratio superficie/volumen del edificio y las "zonas pasivas"¹⁵ del entorno urbanístico del edificio.

Al respecto, esos autores indican que el ratio superficie –volumen de un edificio (S_e/V) es un interesante descriptor de la textura urbana en términos de las pérdidas de energía a través del envolvente del edificio. Sin embargo, las ganancias térmicas del edificio dependen de condiciones espaciales del entorno del edificio que permitan disponer de la luz natural, la luz del sol y la ventilación natural. De no disponer de estas condiciones entonces se produce un aumento en el consumo de la energía para ventilación, iluminación y calefacción/enfriamiento. Lo anterior incide en un gasto energético en vez de un ahorro energético. Por tanto, los parámetros sugeridos por estos autores se orientan al balance energético, que implica tanto ganancias térmicas como pérdidas térmicas. Esto demuestra una vez más que hay una estrecha relación entre el comportamiento energético del edificio y su entorno, pues la forma urbana está afectando el balance energético del edificio. En este sentido, un arquitecto investigador de vasta trayectoria como Givoni declara:

¹⁴ Asumiendo un ratio mínimo de $H/W=1$, vale decir que la altura sea igual al ancho de la calle. Si ratio tiende a ser $H/W > 1$ entonces reduce el acceso de radiación solar directa a ambas aceras de la calle.

¹⁵ Según Baker y Steemers, se entenderá por el concepto de "zonas pasivas" al potencial de cada parte del edificio para hacer uso de la luz día, la luz solar y la ventilación natural. (Baker & Steemers, 2000)

"La temperatura exterior, la velocidad del viento y la radiación solar a la cual un edificio está expuesto no corresponde al clima regional sinóptico, sino que al microclima local, el cual es modificado por la "estructura" de la ciudad, principalmente el vecindario donde el edificio está situado." (Givoni 1989).

El balance energético de la ciudad puede modificarse por la morfología urbana y también mediante el tratamiento de los acabados superficiales; así por ejemplo, cambiar superficie oscura por superficies claras que reflejen la radiación solar, emplear materiales fríos que tengan superficies de gran albedo y poca absorción. En los techos y calles incorporar cubiertas vegetales y plantación arbórea que modifiquen la temperatura del ambiente urbano. El efecto atenuante de la vegetación en la isla de calor ocurre principalmente por el calor latente y en menor grado por el proceso de fotosíntesis activado por la radiación solar. (Asimakopoulos 2001). El albedo, o radiación solar de onda corta reflejada, también está relacionado con la rugosidad de la superficie urbanizada y las propiedades ópticas de los acabados superficiales. En suma, el balance de energía en el medio urbano se ve alterado no solo por la radiación solar incidente sino también por el calor antropogénico, la capacidad de calor acumulada en edificios y calles, y la radiación infrarroja emitida por los cañones urbanos. (Santamouris 2004, Santamouris 2001). Adicionalmente, otro parámetro se incorpora en el análisis térmico de la morfología urbana. Se puede agregar que la geometría de la forma urbana en relación al microclima trasciende el análisis del ratio H/W, la orientación de las calles, el entorno urbano, las sombras de viento, el factor de cielo visible. Otros factores están siendo analizados tales como la relación superficie – volumen, también conocido como factor forma, y la densidad edificada.

Recientemente, autores americanos han incorporado otros indicadores urbanísticos para explicar el comportamiento térmico urbano, tales como la ocupación superficial de los suelos y la volumetría edilicia. (Papparelli et al. 2007, Cárdenas Jirón 2008, Stewart 2010). En ambos casos, presentan resultados de investigaciones experimentales derivadas de trabajos de campo para validar sus hipótesis. Mediante un tratamiento estadístico muestran correlaciones entre variables higrotérmicas explicativas de la isla de calor y variables morfológicas asociadas a un patrón. En Inglaterra, una investigación sobre la isla de calor realizada en la ciudad de Londres consideró similares parámetros morfológicos y ópticos. Los parámetros seleccionados fueron los siguientes: aspecto del ratio H/W; ratio de la densidad del plano en el área ambiental; ratio de la densidad de superficies verticales en el área ambiental; ratio de la densidad vegetacional; masa térmica (J/kgK); y albedo de las superficies. El método empleado para determinar la importancia relativa de dichos factores fue un análisis de regresión, el cual arrojó finalmente como resultado que el albedo de la superficie del ambiente construido junto con la densidad vegetacional eran los más relevantes, en ese caso. (Giridharan, Kolokotroni 2009)

En resumen, los parámetros estudiados empíricamente por otros autores según la revisión bibliográfica son los siguientes: la orientación, las fachadas solares, la sombra de viento, el ángulo de horizonte, el factor de cielo visible, el albedo, la emisión infrarroja desde los acabados superficiales, las ocupaciones de suelo, la densidad edilicia. Del estado de las artes derivado de la revisión bibliográfica, se desprende que hasta ahora la aplicación de los modelos y estudios experimentales

para describir y explicar un comportamiento térmico en los espacios urbanos; se han focalizado en elementos singulares tales como una calle, una plaza, un boulevard, un parque. Se evidencia que no está explorado, el análisis del conjunto de elementos componentes del tejido urbano: red viaria, manzana, parcela, tipología edificatoria, los patios; los cuales se articulan entre sí formando una relación entre el espacio construido y el espacio abierto. Se concluye que aparentemente habría un vacío en el conocimiento; relativo a la interacción entre la morfología urbana y el microclima urbano en la escala del tejido urbano, el cual se pretende explorar.

4 TIPOLOGÍAS DE TEJIDOS URBANOS EN ÁREA DE ESTUDIO: LA FLORIDA EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CHILE

4.1 Aproximaciones conceptuales: del tejido a la morfología urbana

De Solá-Morales afirma que el estudio de la morfología urbana representa un método eficaz de análisis que hace puente entre la forma de la ciudad y la arquitectura, el cual se realiza a través del estudio de los tejidos urbanos. Este método ha supuesto una ruptura en la orientación funcionalista de la ciudad basada en la zonificación. (De Solá-Morales 1986). Los componentes del tejido urbano son la tipología edificatoria, los patios, las parcelas, la manzana y las calles. (Panerai et al. 1983). La riqueza de este análisis radicaría en una valoración de la construcción arquitectónica de la ciudad, conjuntamente con la detección de modelos "arquitectónicos" que representen un orden edificatorio. La lectura de la ciudad desde esa perspectiva permite un reconocimiento arquitectónico de tejidos urbanos y valores de urbanidad.

Para interpretar morfológicamente el crecimiento físico de la ciudad se analiza la escala intermedia entre el edificio que ocupa una parcela y los grandes trazados urbanos: la manzana; pues ella es un elemento que organiza una porción del territorio urbano. Por otro lado, la relación dialéctica entre la calle y las parcelas construidas crea las bases de la existencia de un tejido. Puede substituirse la edificación, pero permanece esta relación la cual posibilita el desarrollo de la ciudad. Cuando la ciudad crece sin una idea de conjunto ni espacios públicos, se está creando una autonomía de la calle respecto al edificio, en donde las actuaciones inmobiliarias ocurren en función de la disponibilidad de suelo y coste. El resultado de esta actuación es la generación de islas urbanizadas desprovistas de espacios públicos para los ciudadanos y desarticuladas del tejido urbano. En las urbanizaciones nuevas exclusivas de viviendas se produce una dualidad simplista entre lo individual y lo colectivo, incapaz de producir un tejido urbano con formas que acojan la vida urbana. En las últimas décadas, el debate trata de revertir la tendencia de pensar la ciudad a partir del edificio y tratar de incorporar el concepto de morfología urbanística, a través de la reivindicación del proyecto urbano. (Panerai, Mangin 2002). La concepción de la ciudad moderna es distinta a la concepción de la ciudad clásica; en esta última el espacio público era construido por los edificios localizados en una fachada continua de manzana cerrada. En cambio,

en la ciudad moderna los espacios públicos son más bien un espacio residual, localizados en una manzana abierta. En donde la lógica constructiva de la ciudad parte desde el edificio hacia el exterior a diferencia de la lógica anterior que parte desde la arquitectura urbana, el espacio exterior hacia la unidad edificatoria.

El examen de la evolución del tejido según periodos históricos permite establecer comparaciones morfológicas de las piezas y comprender la diversidad derivada de un proceso de sustitución de la edificación a través de la historia. Se puede constatar que la estructura parcelaria y el tramado de calles se conservan durante años en las ciudades, mientras que las edificaciones pueden variar; ya sea por una renovación o una sustitución total. Las densidades en el interior de la parcela, van ocurriendo en la medida que aumenta la presión por localización en una misma área de la ciudad y con ello su valoración de suelo. Por tanto, el análisis morfológico desde la perspectiva de un arquitecto urbanista trasciende el estudio de la volumetría *per se*, pues lo esencial es comprender y proyectar relaciones entre el edificio y la calle (el ratio altura y ancho); relación entre el patio (espacio trasero) y la edificación; relación entre el espacio público y el espacio privado (un antejardín y la calle), relación frente-fondo de una parcela, etc. En esta línea de pensamiento, las fachadas constituyen la “envolvente” del espacio público. En el análisis del tejido urbano se han de considerar sus componentes, a saber: la parcela, tipología edificatoria, los patios, los antejardines (espacios exteriores al interior de la parcela), la calle, la manzana y la trama del viario. En particular, y siguiendo el pensamiento analítico de Panerai, el análisis de la parcela es clave, pues influye en los tipos de edificios que se pueden edificar, el tipo de espacio público producidos y con ello, los posibles usos de los habitantes, y por ende sus modos de vida. En suma, la producción del tejido urbano resulta de la superposición de dos lógicas: la de subdivisión del suelo (parcelas) para la edificación y el trazado del viario que da servicio a las parcelas.

El estudio de la morfología de la ciudad basada en el análisis de los tejidos urbanos facilita una categorización de modelos arquitectónicos – urbanísticos. Entre los ejemplos paradigmáticos de modelos de la arquitectura residencial del siglo XX se encuentra la “Ciudad Jardín” y la “Ciudad Radiante”. (Rossi 1991). El modelo residencial de la “ciudad jardín”, surgió en un contexto anglosajón a comienzos del siglo XX, y el modelo residencial de la “ciudad radiante” de Le Corbusier, surgió en Francia en el primer cuarto del siglo XX. Estos modelos son predominantes de la clase media en la periferia de las grandes ciudades. (Panerai, Mangin 2002). Si bien los modelos fueron creaciones urbanas que surgieron en Europa e Inglaterra, estos han tenido una gran trascendencia en las ciudades hasta hoy. (Higueras 2006).

4.2 Tejidos urbanos residenciales en una comuna representativa de la ciudad de Santiago de Chile: La Florida

Para el estudio de caso se ha seleccionado una comuna representativa de tejidos residenciales en la ciudad de Santiago de Chile. Esta ciudad de rango metropolitano posee una población de 5.460.000 millones de habitantes según el Censo del año 2002, y se ha expandido en los últimos años hacia la periferia Norponiente, en la

Provincia de Chacabuco¹⁶. (Figura 2). El área territorial de estudio se inscribe en la comuna de La Florida,¹⁷ emplazada al Sur Oriente del Gran Santiago; es un área consolidada, cuya expansión ocurrió principalmente en la década de los ochenta del siglo XX. (Figura 3). Características del medio natural y del medio urbano de la comuna se presentan muy sucintamente para aproximarse a la selección del objeto de estudio: el tejido urbano.

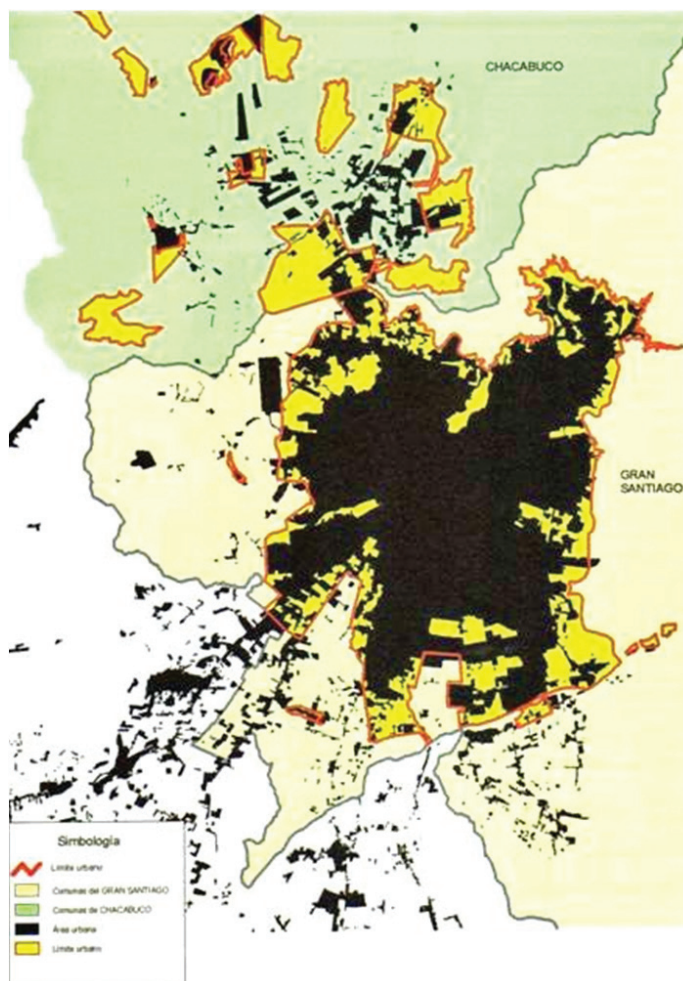


Figura 2. Silueta urbanizada del Gran Santiago y expansión metropolitana.

Fuente: Poduje, 2009

¹⁶ El Plan Regulador Metropolitano de Santiago propone el año 1997 las "Zonas de Desarrollo Condicionado" (ZODUC) incorporando nuevas superficies de la Provincia de Chacabuco para destino residencial de altos ingresos (ejemplo Chicureo); industrial (Quilicura, Colina y Lampa); y equipamientos como colegios; mega centros comerciales, recreacionales y de servicios a la población (*Mall, shopping center*)

¹⁷ La elección de la comuna La Florida se basa en el hecho de ser una de las comunas residenciales más representativa de Santiago metropolitano, pues acoge a todos los niveles medio socio-económico y por ende tipologías residenciales. Además, allí se encuentra establecida una estación meteorológica local.

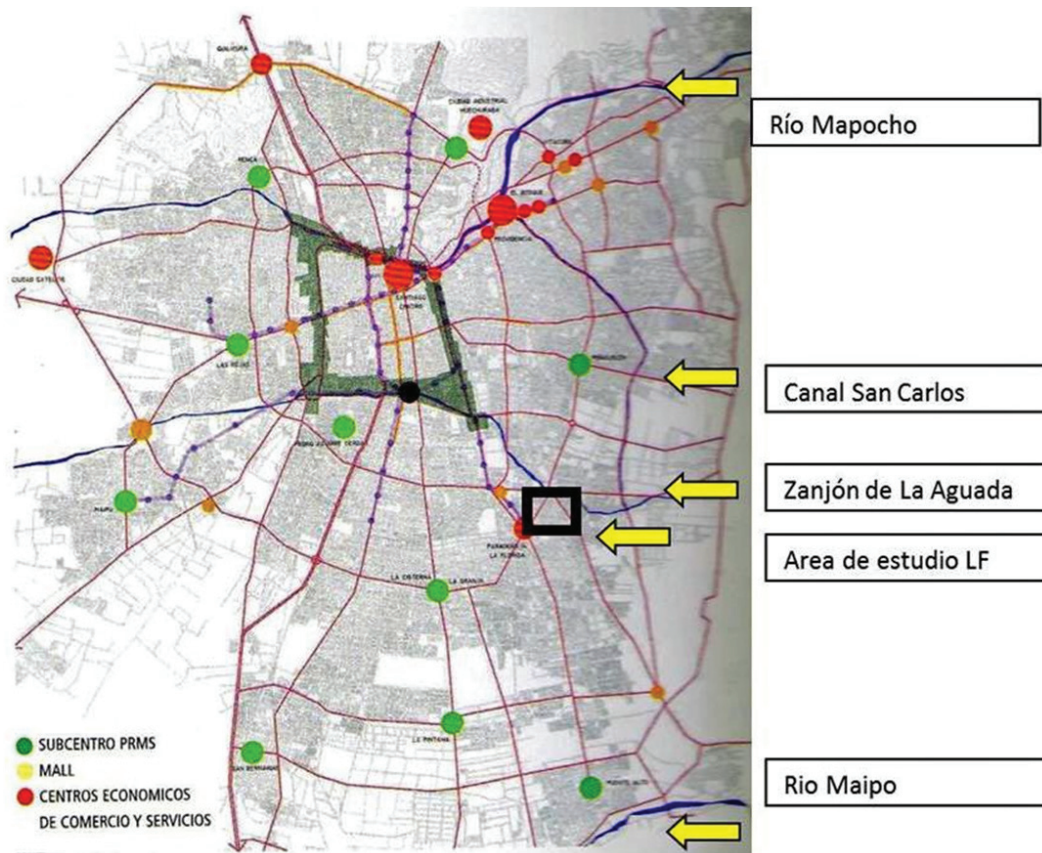


Figura 3. Inserción del área de estudio en la estructura espacial de la ciudad de Santiago de Chile.

Fuente: Anillo Interior, 2003. MINVU

El clima en La Florida corresponde a clima mediterráneo con estación estival prolongada, y concentración de las precipitaciones en los meses de invierno (Mayo-Agosto), alcanzando un rango entre los 200 mm y 480 mm agua caída en el año. Las temperaturas medias oscilan entre los 20,4 °C en verano y los 8,7 °C en invierno. La dinámica de vientos está muy influida por las características del relieve comunal que consta de tres unidades geomorfológicas: la unidad de montaña (sobre 1000 msnm), el piedemonte (648 msnm – 1000 msnm), y la depresión intermedia (bajo 640 msnm). En efecto, este relieve provoca un desplazamiento de masas de aire más caliente diurno desde el valle hacia la cordillera, y se invierte en la noche, pues descienden del cajón cordillerano masas de aire frío produciendo una disminución de temperatura nocturna y matinal, creando un microclima particular. El emplazamiento de la comuna en la zona de barlovento cordillerano influye también en el tiempo atmosférico provocando una precipitación mayor que en otras comunas (SEREX 2008). La comuna tiene un área urbanizada equivalente a 48.9% y un área no urbanizada de pre cordillera, a mediados de los ochenta fue la comuna más poblada de Chile. Es importante destacar que actualmente la población comunal es representativa de la Región Metropolitana, pues allí se encuentran los tres niveles de ingreso predominantes en Chile: medio alto, medio y medio bajo

según la categorización socioeconómica.¹⁸ El uso de suelo dominante es el residencial que alcanza a un 49% de la superficie urbana y se encuentra dispersa por toda la comuna; un 44 % a equipamiento, un 4,8 % destinado a bodegas e industrias. Presenta distintas tipologías edificatorias, siendo la tipología tradicional dominante la vivienda de baja densidad.

Los criterios para determinar las tipologías edificatorias residenciales en la comuna fue realizar una muestra equivalente a 4,5% del total de los suelos urbanizados y que además estuviera localizada cercana a la estación meteorológica ubicada en dicha comuna.¹⁹ La metodología consistió en un análisis visual mediante imágenes de fotos aéreas *google* e inspecciones oculares en terreno para verificar lo observado en la foto. Del análisis de la muestra se extrajeron diversas tipologías edificatorias residenciales, que se situaban en la comuna. Las tipologías de vivienda observadas en un radio de 2 a 5 km desde la estación meteorológica fueron cinco: la vivienda aislada con grandes parcelas y patios de antiguas chacras (color naranja), la vivienda pareada con antejardín (color verde) y parcelas de 250 m²; la vivienda continua sin antejardín (color ocre) con parcelas comunes de 1000 m², viviendas de bloque con espacios comunes (color café) y parcelas de 2 a 3 hectáreas; y viviendas de alta densidad en torres (color amarillo) con espacios colectivos y parcelas mayores a 5000 m². (Figura 5). Luego se confeccionó la tabla 1 con las superficies de suelo que ocupaba cada tipología edificatoria y se estimó su porcentaje para conocer el peso relativo de cada uno. Así, determinar un orden de magnitud que orientara la selección de las tipologías más representativas del crecimiento físico en las últimas décadas en la periferia metropolitana. A partir de estas muestras tipológicas se seleccionarían los casos de estudio de aquellas tipologías predominantes según indican las figuras 4 y 5 con el objeto de analizar en profundidad el comportamiento energético de ellas.

TIPOLOGIA EDIFICATORIA	COLOR	SUPERFICIE (m2)	SUPERFICIE (%)
torre	amarillo	76.569	4.9
Pareada con antejardín	verde	800.380	50.3
Bloques vivienda	café	434.096	27.3
Continua sin antejardín	ocre	173.333	10.9
Aislada con patio (antiguas chacras)	naranja	104.821	6.6
TOTAL	-	1.589.199	100

Figura 4. Tabla de tipologías edificatorias residenciales y superficies en comuna La Florida

Fuente: Elaboración propia (2009)

¹⁸ En las últimas elecciones presidenciales de la Nación del año 2010 se realizaron predicciones estadísticas de las preferencias políticas en esa comuna para determinar *a priori* los resultados de la Región Metropolitana y se obtuvo un acierto alto que alcanzó el 98%. Tiene una población de 365.674 habitantes según Censo 2002.

¹⁹ La comuna de La Florida tiene una superficie de 70.2 km², de los cuales el 48.9%, casi la mitad, corresponden a suelo urbano, esto es 34.7 km² y de estos se selecciona una área cercano a la estación meteorológica de referencia equivalente a 1.6 km², lo que equivale a un 4,5 % del total de superficie urbana. La delimitación se hizo en función de una localización que presentara la mayor diversidad de tipologías, o sea representatividad morfológica y la extensión de esta área es función de representatividad estadística.

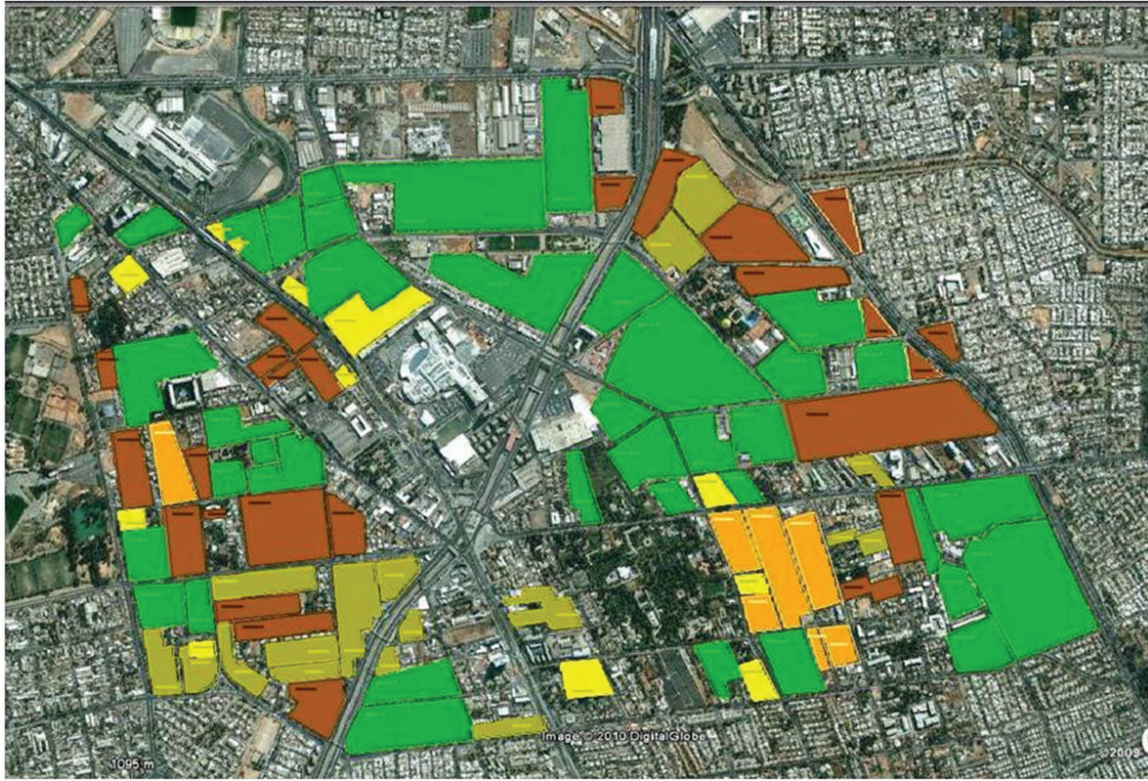


Figura 5. Localización de las tipologías edificatorias residenciales en la comuna de La Florida

Fuente: Google. Elaboración propia

En la figura 4 se señala que la tipología edificatoria predominante corresponde a la vivienda pareada con antejardín, lo que representa un 50,3 % del total de las viviendas en la muestra seleccionada; le sigue los bloques de vivienda con un 27,3 %, luego la vivienda continua sin antejardín con un 10,9%, en penúltimo lugar la vivienda aislada con patio (antiguas chacras) con un 6,6% y en último lugar la torre de viviendas con un 4,9%. De lo anterior, se concluyó que las tipologías residenciales mayoritarias son la vivienda pareada con antejardín y la vivienda de bloque. Por tanto, se decidió estudiar estas dos tipologías en la comuna para someterlas a prueba en la hipótesis.

Eso significa estudiar en detalle las tipologías edificatorias de vivienda pareada (de un lado) con antejardín y la tipología edificatoria de vivienda en bloque; la primera es unifamiliar y la segunda es colectiva. Ambas tipologías edificatorias definen un tejido urbano determinado que coinciden con los modelos arquitectónicos paradigmáticos del siglo XX, generando teorías y arraigándose en la ciudad de Santiago de Chile, en particular en la comuna de La Florida. En la figura 6 se presenta la estructura predial de las tipologías edificatorias de los tejidos urbanos de la muestra.

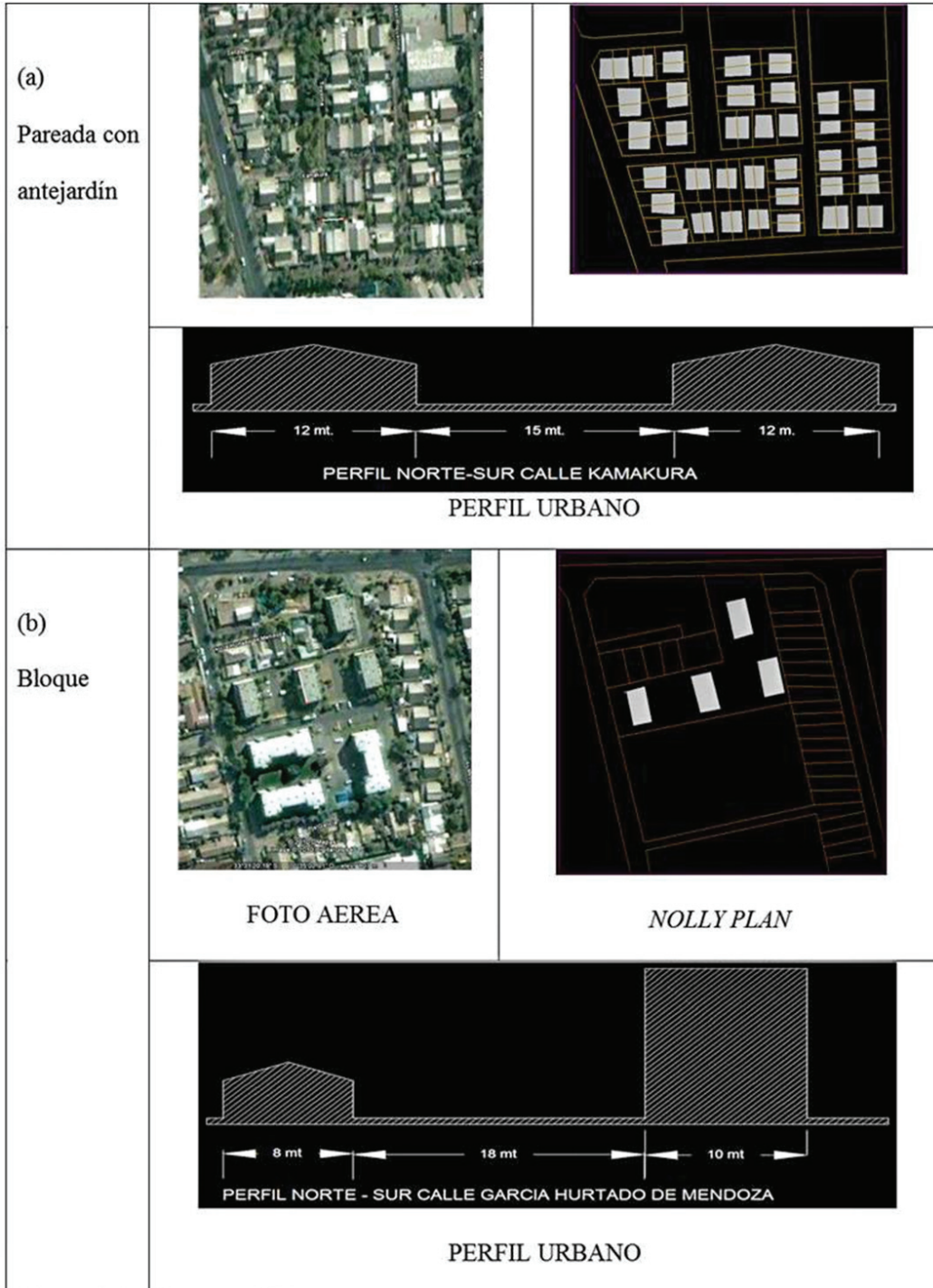


Figura 6. Tipologías edificatorias de estudio predominantes: (a) pareada con antejardín y (b) bloque.

Fuente: Elaboración propia (2010)

4.3 Caracterización morfológica de las tipologías de tejidos urbanos residenciales

Las características morfológicas de las tipologías seleccionadas (a) y (b) se resumen en la figura 7. En la cual, se describen las relaciones espaciales de cada componente del tejido urbano de un modo cualitativo. Entre ellas está la tipología edificatoria: vivienda pareada con antejardín o vivienda en bloque; la parcela: si es una unidad o varias constituyentes de la manzana; la manzana, si es cerrada y delimitada por las tipologías edificatoria y parcelas o abierta quedando espacios abiertos de acceso al interior de ella. La legibilidad del espacio urbano que permita diferenciar por un lado, la cualidad legal: pública o privada, y su forma de delimitación: continua o discontinua.

IDENTIFICACION	UBICACION	TIPOLOGIA EDIFICATORIA	PARCELA	MANZANA	ESPACIO PUBLICO / ESPACIO PRIVADO	CARACTERISTICAS TRAMA URBANA EN TEJIDO URBANO
(a) PAREADA CON ANTEJARDIN	Kamakura con Colombia	Pareada con antejardín	Conjunto de parcelas forman una manzana	cerrada	Delimita espacio urbano y diferencia espacio privado del público	Continua con alineación de la calle, pero separando la línea oficial (límite parcela) de la línea de edificación (inicio volumen)
(b) BLOQUE	Av. Walker Martínez / García Hurtado Mendoza	Bloque	Abarca una parcialidad o totalidad de la manzana	Abierta en la fachada del bloque	Se confunde el espacio público del privado en el espacio urbano	Se interrumpe la continuidad del espacio urbano-calle en la fachada urbana. Se produce un retranqueo.

Figura 7. Tabla de características morfológicas de las tipologías de tejido urbano residencial.

Fuente: Elaboración propia (2009)

La localización y selección de casos de estudio de los tejidos urbanos en la comuna de La Florida se realizó dentro de un área territorial de menor tamaño que aquel escogido para el muestreo de los tejidos. La definición de esta área tiene por objeto delimitar un polígono de acercamiento al objeto de la investigación: los tejidos urbanos residenciales. El área de estudio se encuentra inserta en un polígono conformado por la Avenida La Florida hacia el Nororiente, la avenida Serafín Zamora por el Norponiente y Avenida Rolando Froden por el Sur. (Figura 8). En este polígono se encuentra una diversidad tipológica de tejidos urbanos de entre los cuales se ha seleccionado las dos categorías de tejidos predominantes según la muestra: tejido de ciudad jardín (J) y tejido de ciudad de bloque (B).²⁰ En la figura 9, se muestra la selección de los casos de estudio sobre la estructura parcelaria, distinguiendo 3 ejemplares de cada familia de tejidos: tejidos J y tejidos B. La categoría de los tejidos B comprende el tejido B1, B2, y B3. La categoría de los

²⁰ La tipología edificatoria de vivienda pareada con antejardín se inscribe en el modelo de "ciudad jardín" y la tipología edificatoria de bloque de vivienda se inscribe en el modelo de "ciudad de bloque"; por tanto se llamaran a partir de ahora tejido de ciudad jardín o tejidos J y tejidos de ciudad de bloque o tejidos B.

tejidos J comprende J1, J2, y J3. La localización espacial de estos tejidos se encuentran dentro del área de influencia de 1 kilómetro de una estación meteorológica, pues ésta se constituirá en la estación de referencia para el monitoreo de algunos parámetros bioclimáticos. (Figuras 8 y 9). Para la selección de las muestras y de los casos de estudio se han considerado lo indicado en los procedimientos metodológicos de la literatura. (Yin 1984, Knight, Ruddock 2008, Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2007). Así, los tejidos urbanos seleccionados se identifican según las calles y tipología en los siguientes:

- Tejido J1: Samurai
- Tejido J2: Real Madrid
- Tejido J3: Valladolid
- Tejido B1: Reina Luisa
- Tejido B2: Sevilla
- Tejido B3: Málaga



Figura 8. Polígono de acercamiento al objeto de la investigación: tejidos urbanos residenciales

Fuente: Google. Elaboración de la autora



Figura 9. Área de influencia de estación meteorológica ubicada en La Florida y localización de los casos en área de estudio.

Fuente: Google. Elaboración de la autora

La comparación de sus características morfológicas permitirá establecer si hay diferencias significativas entre ambos modelos urbanos o familias de tejidos. Para ello, algunos rasgos espaciales se sintetizan en la figura 11 tales como: la estructura parcelaria, la proporción del espacio público medido en un ratio altura/ ancho, y el factor de cielo visible medido como la fracción de cielo que se ve desde el centro del espacio. Estos dos últimos parámetros corresponden a la concepción de un espacio discreto (ratio) y la de un espacio continuo (factor de cielo visible), ambos indicando un valor promedio del tejido. La apertura de cielo visible es parámetro morfológico que cumple un rol importante, pues permite el intercambio radiativo entre el palio urbano y la atmósfera del cielo. En invierno, una mayor apertura de cielo permite un mayor intercambio de energía, como también de asoleamiento; y en verano, una mayor entrada de radiación solar global y posible sobrecalentamiento de los espacios. Por tanto, este factor influirá en el comportamiento térmico de los espacios exteriores del conjunto analizado.

En la figura 11 se observan claras diferencias morfológicas entre los casos de estudio: el modelo de ciudad jardín indica una estructura parcelaria compacta con alta ocupación de suelo en cada predio, y pasajes conectores entre las parcelas.

Además un ratio entre altura/ancho del espacio público cercano a 0.32 y un factor de cielo visible que bordea los 0.82, lo cual significa amplia visibilidad de la fracción de cielo desde el espacio exterior. En cambio, los ejemplos del modelo de ciudad de bloque muestran una única gran parcela que suele coincidir con la manzana, y una baja ocupación de suelo en ella. El ratio se acerca a 1 y en algunos casos lo supera, eso significa un espacio exterior más cerrado a la radiación solar y un factor de cielo visible cercano a los 0.57, vale decir se ve menos la fracción de cielo desde el espacio exterior. Adicionalmente, otros parámetros ligados a la arquitectura y su relación con la parcela fueron considerados tales como: el coeficiente de ocupación de suelo (COS), el factor forma (FF) y la densidad volumétrica (DV). El COS se refiere a la fracción de ocupación de la parcela por la edificación en planta baja respecto del total (%); el factor forma se refiere a un ratio entre la superficie del envolvente arquitectónico y el volumen contenido por la edificación (rango 0-1); y la densidad volumétrica se refiere a los volúmenes edificados en una superficie dada, (m^3 /hectárea). Para construir esos parámetros se midieron las superficies de cada uno de los predios, (218) las superficies edificadas en planta baja, las superficies de fachadas de cada uno de los edificios (231) y el volumen de ellos en las 6 ejemplares de tejidos. Un resumen de los valores obtenidos se muestra en la figura 10. La selección de estos parámetros se justifica en la medida que ellos modifican los intercambios de energía entre el medio ambiente y la atmósfera baja del palio urbano, por ello se han denominado parámetros morfo-climáticos. La premisa subyacente a la hipótesis sostiene que la acción simultánea del conjunto de parámetros, propios de una tipología de tejido urbano, generaría un microclima específico.

Tejidos	Coefficiente de Ocupación Suelo (%) COS	Ratio Factor Forma Arquitectónica FFA	Densidad Volumétrica (m^3 /ha) DV	N° de predios	N° de edificios
Tejido B 1	20	0,3	24839	1	10
Tejido B 2	27,7	0,26	36850	1	4
Tejido B 3	24,2	0,26	29167	1	4
Total	-	-	-	-	-
Promedio Tejido B	23,9	0,27	30285	3	18
Tejido J 1	45,3	0,94	13573	47	47
Tejido J 2	48,4	0,84	15307	78	77
Tejido J 3	54	0,85	15971	90	89
Total	-	-	-	-	-
Promedio Tejido J	49,2	0,87	14950	215	213
Total					

Figura 10. Tabla de parámetros morfoclimáticos en las tipologías de tejidos urbanos, La Florida.

Fuente: Elaboración propia (2009)

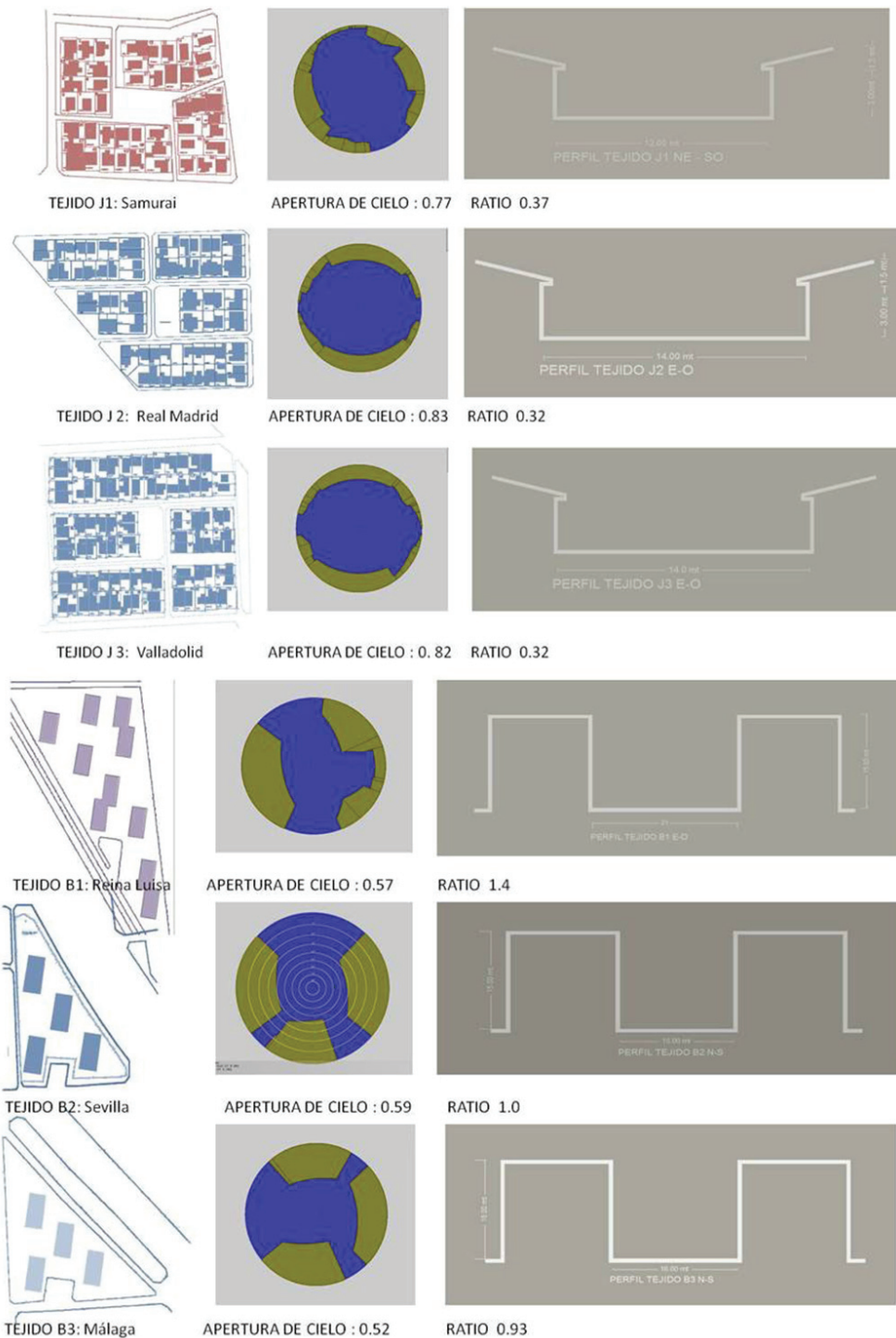


Figura 11. Características morfológicas de tipologías de tejidos urbanos: estructura parcelaria, apertura de cielo y ratio del espacio exterior.

Fuente: Elaboración propia

De la figura 10 se concluye que los valores promedios de los indicadores morfo-climáticos son distintos entre el grupo de tejidos B y el grupo de tejidos J. Para el Coeficiente de Ocupación de Suelo (COS) y la Densidad Volumétrica (DV), ambos registran una diferencia que sobrepasa el doble; los tejidos J sobrepasan al doble a los tejidos B en el COS; en cambio los tejidos B sobrepasan al doble a los tejidos J en DV. Para el ratio Factor Forma Arquitectura se elevan en un tercio los valores medidos de los tejidos J respecto a los tejidos B. Lo anterior, indica teóricamente que según este indicador FFA, los tejidos J tendrían una mayor pérdida térmica, de acuerdo a su tipología arquitectónica, respecto a los tejidos B. Por otra lado, la menor superficie de suelo natural ocupada en la parcela de los tejidos J, según indica el COS, disminuye la posibilidad de intercambio evaporativo entre el suelo y la capa del palio urbano de la atmósfera. En detrimento de una reducción de humedad relativa del ambiente en periodo estival y una sensación térmica de mayor temperatura, lo que contribuye a disconfort térmico en el espacio exterior.

En cambio, el indicador DV refleja que en los tejidos B aumenta la capacidad de almacenamiento de calor por la mayor superficie edificada, y por ende mayor radiación solar incidente y capacidad de acumular calor en las fachadas solares. Dada la orientación de los edificios, crujías a lo largo de un eje imaginario Norte-Sur, la exposición solar de las fachadas de mayor longitud quedan hacia el Oriente y Poniente. Lo cual puede ser muy perjudicial en verano en términos del confort térmico por el sobrecalentamiento en las fachadas. A nivel global, se observa una mayor masa construida, equivalente al doble, en los tejidos B respecto a los tejidos J, lo cual aparentemente indica una mayor acumulación de calor en esos tejidos, pero se requiere integrar también los otros parámetros para obtener una interpretación global. La densidad volumétrica se estima para efectos comparados y corresponde en forma análoga al conocido factor de edificabilidad de las normativas urbanísticas existentes. La diferencia radica en el campo de aplicación, pues la edificabilidad se refiere a superficie de planta baja respecto a una parcela, en cambio aquí se compara una unidad volumétrica respecto a la manzana y trama urbana.

De lo anterior, se concluye que si bien el análisis de cada parámetro permite inferir interpretaciones, no es posible determinar en forma simplista cual de los dos tejidos tiene un mejor comportamiento térmico sino más bien inferir observaciones puntuales, que dependiendo del indicador usado será el comportamiento presunto en cada tejido. Se hace necesario verificar con mediciones en terreno cual es el real comportamiento higrotérmico. Finalmente, a partir del análisis de estos cuatro indicadores morfológicos se concluye que existen diferencias significativas entre las tipologías de tejidos J respecto a las tipologías de tejidos B; con lo cual se verifica parcialmente la hipótesis inicial respecto a una diferenciación en la caracterización morfológica de los tejidos urbanos. Para la búsqueda de una validación total de la hipótesis 1 se requiere estudiar el comportamiento energético a través del estudio de los indicadores bioclimáticos en los tejidos.

5 COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE TEJIDOS URBANOS RESIDENCIALES: CIUDAD JARDÍN VERSUS CIUDAD DE BLOQUE

5.1 Campaña de mediciones, bases de datos y análisis estadístico

Para conocer y evaluar el comportamiento energético de tejidos urbanos residenciales se efectuó un trabajo de campo que consistió en campañas de mediciones *in situ*, simulaciones computacionales y registros de bases de datos existentes. La campaña de mediciones requiere de una selección apropiada de instrumentos y protocolo para la toma de datos que difieren dependiendo del parámetro a observar. Es así como la temperatura del aire y humedad relativa fueron recolectadas directamente de terreno a través de una campaña de mediciones. La dirección y velocidad del viento, también fue observada en terreno, pero se recogieron los datos indirectamente, pues se empleó la base de datos de la estación meteorológica de La Florida. En cambio, la radiación solar global se obtuvo mediante bases de datos de programas computacionales, basados en los estudios de Liu y Jordan (Teller 2001; Robinson 2006; SEUS 2010).

La campaña de mediciones fue cuidadosamente planificada, considerando el objetivo y las condiciones atmosféricas de modo que las observaciones meteorológicas fueran representativas del lugar y confiables. Para ello, se consideran las recomendaciones sugerida por Tim Oke en las publicaciones de la Organización Meteorológica Mundial. (WMO, 2006). Las mediciones en terreno corresponden al trabajo de campo y tiene por objetivo registrar observaciones meteorológicas para caracterizar el microclima de una estructura espacial específica de la ciudad, y que refina las observaciones de una estación meteorológica fija. Para ello, mediciones móviles con sensores de temperatura y humedad relativa se registraron simultáneamente en el interior de los tejidos urbanos mediante recorridos peatonales. Los sensores de temperatura y humedad relativa se ubicaron a una distancia de 1.5 m del nivel calle, protegidos de la radiación solar directa y se efectuaron pruebas antes de trazar perfiles y mapas de isolíneas que reflejaran el comportamiento higrotérmico. Se recomienda efectuar las mediciones en cielo claro y con calma de vientos. En una gran ciudad, lo usual es encontrar islas de calor e islas de humedad en un área, lo cual puede asociarse a *clúster* o agrupaciones de edificios, o cursos de agua o parches vegetacionales, etc. El diseño de una red de estaciones móviles es recomendado para construir las isoterms.

La campaña de mediciones se realizó en dos periodos correspondientes al solsticio de verano y solsticio de invierno, pues en aquellas fechas se registran los máximos y mínimos valores de temperatura y humedad relativa del aire ambiente. Las fechas seleccionadas fueron días laborales y días festivos para comparar valores entre sí y determinar *a priori* si existían diferencias significativas derivadas de la carga de tráfico vehicular. Para ese fin se realizó un conteo de tráfico en las calles circundantes al área de estudio y se compararon las temperaturas de invierno y verano, entre un día laboral y un día festivo. Así ponderar supuestos iniciales, reconocidos en la literatura, respecto a las cargas de calor disipadas por la

combustión de los vehículos. Investigaciones experimentales demuestran que del total de fuentes emisoras de calor antropogénico en la ciudad; la influencia del tráfico (motor de los vehículos) en la temperatura del aire es baja y casi marginal comparado con otros factores. (Arnfield, 2003). Los conteos de tráfico vehicular efectuados en el área de estudio demostraron una gran diferencia entre un día laboral (440 veh/h) y un día festivo (204 veh/h) durante 1 hora entre las 8:15hrs a las 9:15hrs; sin embargo su incidencia en las temperatura del aire fue marginal, dado que no registraron diferencias significativas entre ellas. La campaña de mediciones fue realizada durante un total de 6 días distribuidos de la siguiente manera: 4 días en verano y 2 días en invierno. Las fechas fueron el 21 de Diciembre del año 2005 (Miércoles), 4 de Enero del 2006 (Miércoles), 21 de Diciembre del 2006 (Jueves) y 07 de Enero del 2007 (Domingo), 21 de Junio del 2006 (Miércoles), y 25 de Junio del 2006 (Domingo). Las fechas corresponden al solsticio de verano e invierno y días cercanos a esas fechas, pues presentan los valores extremos del año. El horario de las observaciones en terreno fueron diurnas en cuatro períodos: a las 8:00hrs, a las 12:00hrs, a las 16:00hrs, y a las 20:00hrs, para incorporar las máximas de temperaturas que suelen registrarse entre las 15:00hrs y las 16:00hrs.

En las figuras 12 y 13 se observa cada punto de medición, lo que suma un total de 49 puntos por 4 veces al día, se obtiene un total de 196 registros y por 6 días en el trienio de estudio, se obtiene un total de 1176 registros, los cuales se efectúan dos veces para determinar humedad relativa (%) y temperatura del aire (°C), obteniendo un total de 2.352 registros. Por lo anterior, fue necesario recurrir a un tratamiento estadístico de los datos. (Coquillat 1991; Sánchez Carrión 1999; Santos Preciado 2008) El criterio de selección de los puntos de medición fue su condición espacial y accesibilidad. La ubicación de cada punto fue el espacio exterior de cada uno de los tejidos tales como los cañones urbanos, plazas, playas de estacionamiento, con distintas orientaciones cardinales.

TIPO DE TEJIDO	PUNTOS DE MEDICION (n°)	SUPERFICIE (has.)	VIVIENDAS (n°)	DENSIDAD (viv/ha.)	N° DE PREDIOS (n°)	N° DE EDIFICIOS (n°)
JARDIN						
J1	11	2.47	47	19	47	47
J2	10	2.34	77	32.9	78	77
J3	11	2.85	90	31.5	90	89
TOTAL	32	-	-		215	213
PROMEDIO	-	-	-	27.9	-	-
BLOQUE						
B4	8	1.56	160	102.5	1	10
B2	7	0.81	64	79	1	4
B3	8	0.70	64	91.4	1	4
TOTAL	17	-	-	-	3	18
PROMEDIO	-	-	-	90.9	-	-

Figura 12. Tabla de antecedentes catastrales síntesis de los 6 ejemplares de tejidos urbanos.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 12 se observa que hay diferentes densidades (viv/ha.) en cada familia de tejidos urbanos; es así como los tejidos tipo “jardín” presentan un promedio de densidad de 27.9 viv/ha., mientras que en los tejidos tipo “bloque” la densidad habitacional llega a 90.0 viv/ha., lo que significa tres veces más denso este último tejido. La cantidad de puntos seleccionados en los tejidos jardín son superiores debido a una mayor fragmentación de espacios exteriores en la trama urbana, lo que obligaba a tener más puntos para cubrir más densamente la totalidad del área de estudio.

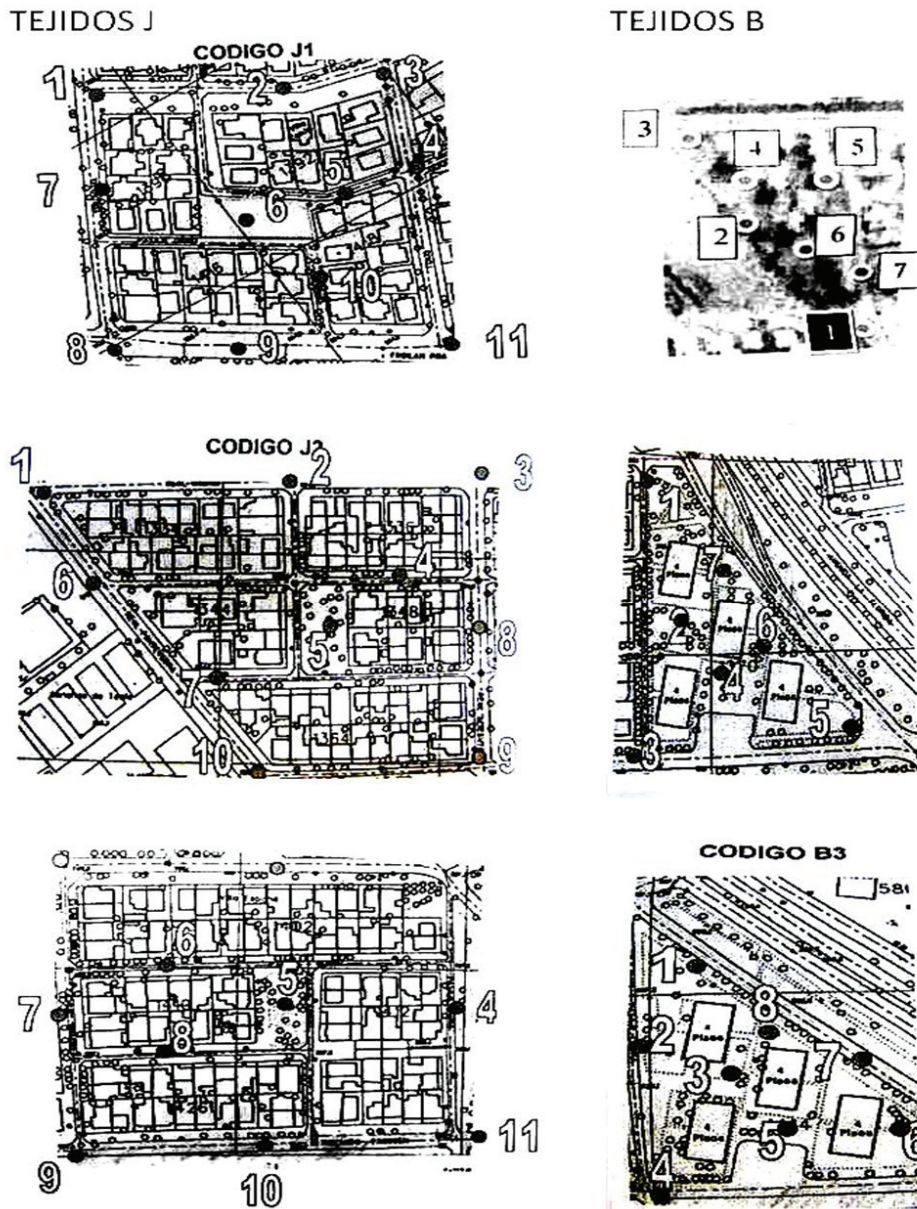


Figura 13. Localización de puntos de monitoreo en las 6 ejemplares de tejidos urbanos
 Fuente: Elaboración propia

El total de observaciones de la estación meteorológica fija fue 105.120. Dado que se consideraron los 3 años completos de toma de datos: 2005, 2006 y 2007 entre Enero y Diciembre de cada año; lo que significa un conjunto aproximado de 8.760 valores anualmente por cada parámetro (24horas x 365 días); y siendo un total de 4 parámetros multiplicados por 8.760 se obtiene 35.040 y eso en tres años se obtiene 105.120 datos. La base datos registrada en la estación La Florida y analizada corresponde a valores horarios durante las 24 horas del día y los 365 días del año. Los datos aportados por la estación fueron temperatura del aire (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s) y dirección en grados sexagesimales (°) De esta manera, poder determinar las condiciones medias del microclima alrededor de la estación y circunscrita al área de estudio de la presente investigación. La validación de las observaciones de terreno se realiza mediante una normalización de datos respecto a una estación de referencia, para corroborar la validez de los datos obtenidos *in situ*. Para el procesamiento se emplean tablas dinámicas y luego un tratamiento estadístico que permita manejar la gran cantidad de datos meteorológicos proveniente de ambas fuentes: terreno y estación de referencia. El instrumento apropiado para registrar las observaciones fue un higrotermómetro digital cuyas especificaciones técnicas son:

Modelo N° 8701

Rango de temperatura: -10°C a 50°C (+14 +122°F)

Rango de humedad relativa: 5% a 95% RH

Precisión +- 4% 25°C y temperatura: +-1°C

Tiempo de respuesta: 80 segundos típicos

Peso: 75 gramos

Una vez obtenida validez y confiabilidad de los datos se procede a una comparación entre los tejidos que sea estadísticamente significativa. Los resultados indican que si hay diferencias significativas en los parámetros higrotérmicos entre las muestras de tejido B y tejido J para una condición de verano; en cambio que no habría diferencia estadísticamente significativa en el comportamiento de los parámetros higrotérmicos entre las muestras de tejido B y las muestras del tejido J, para una condición de invierno. Con este análisis se cumple uno de los objetivos que consistía en caracterizar el comportamiento higrotérmico de los tejidos.

5.2 Análisis integrado de variables bioclimáticas en los tejidos urbanos

El análisis integrado de los parámetros bioclimáticos se realiza sobre un soporte territorial, la topografía del terreno; la cual se analiza previamente para conocer situaciones singulares que pudieran afectar una interpretación de comportamiento. De ese análisis se concluyó que en general no existen situaciones relevantes a considerar dada las características topográficas. Luego se definen los parámetros bioclimáticos basados en la literatura existente, a saber: la temperatura del aire, la humedad relativa del aire, la intensidad y frecuencia del viento, la radiación global incidente sobre plano horizontal.

Con el fin de conocer la distribución espacial y temporal de estos parámetros, se confeccionan herramientas de análisis tales como mapas de isotermas, isopletas de humedad relativa, rosa de vientos, y mapas de radiación solar; los cuales se visualizan en laminas a color para dos de los 6 tejidos urbanos distinguiendo las condiciones de invierno respecto de las condiciones de verano. A partir de un análisis visual de cada imagen fue posible obtener una primera interpretación cualitativa del comportamiento energético de cada ejemplar de tejido urbano; para sintetizarlo posteriormente en cada familia: ciudad jardín o ciudad de bloque. A modo de ejemplo, se muestra dos de ellos: J3 Valladolid y B3 Málaga. Las condiciones higrotérmicas están referidas a variables de temperatura y humedad relativa registradas en el trabajo de campo. Previo al análisis de resultados, se requiere presentar el soporte territorial sobre el cual se emplaza el tejido urbano, indicado en la figura 14.

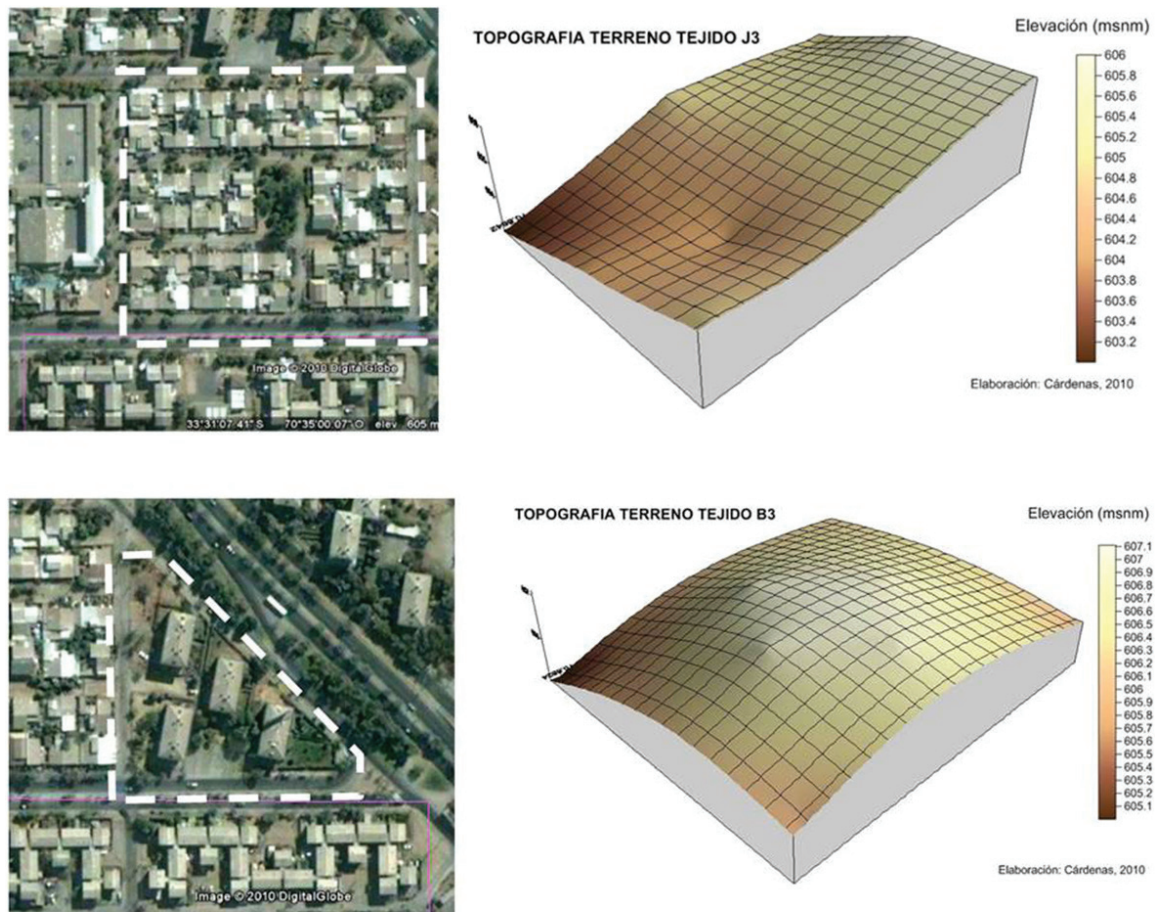


Figura 14. Foto aérea del tejido urbano y topografía del terreno: J3: Valladolid y B3: Málaga.

Fuente: Elaboración propia (2010)

La topografía del terreno en tejido J3 presenta una pequeña depresión en el área Sur Oeste del tejido, que alcanzan los 603.2 msnm respecto los 606 msnm del resto del área que se observa plano. La grilla del tejido constituida por calles, pasajes y manzanas rectangulares corresponde a la orientación cardinal Norte-Sur y este Oeste, lo que facilitaría teóricamente la permeabilidad del viento predominante de barlovento. En verano principalmente del Oeste y en invierno del Este (cordillera) y Oeste. No obstante, la realidad de los gráficos de isotermas indica que no es tan evidente; salvo al atardecer del verano y mediodía del invierno. La distribución espacial muestra nodos de bajas y altas temperaturas. Estos nodos tienden a coincidir con la depresión de 2.8 metros mencionada anteriormente. La topografía del terreno en B3 indica que es relativamente plano con una diferencia de altitud de 2 metros en la esquina Noroeste y una altitud de promedio de 606 msnm. Aparentemente, esa caída, no incide en una variación de los parámetros higrotérmicos, pues así lo indican los mapas de isotermas e isopleas adjuntos. La grilla del tejido B3 sigue la orientación de los ejes cardinales Norte Sur, pero las tipologías edificatorias tienen una inclinación de 10° sexagesimales en sentido horario respecto al Norte geográfico. Esta orientación podría facilitar la ventilación en verano, pues coincide con el barlovento predominante de mayor intensidad en el distrito, (2.5 m/s) que proviene del Sur Oeste.

El comportamiento de las variables de temperatura del aire (°C) y humedad relativa (%) y su comparación tiene por objeto describir, y descubrir algunas tendencias que de repetirse en los 6 ejemplares podría llegar a constituirse en un patrón. Esto requiere analizar en series horarias y estacionales el comportamiento de las masas de aire en el conjunto de los tejidos urbanos. Para ello, se confeccionan mapas que muestren la distribución espacial de temperaturas y humedad relativa en cada uno de los 6 tejidos de tipo J y de tipo B observados en terreno. Los mapas emplean los valores promedios diurnos observados en terreno durante 6 días distribuidos en tres años para las dos estaciones. En las figuras 15, 16, 17 y 18 se presenta la distribución espacial de isotermas (°C) e isopleas (HR%) para un caso de estudio en cada familia de tejido, a modo de ejemplo: J3: Valladolid y B1: Reina Luisa.

La rosa de los vientos representada en la figura 19 muestra la intensidad (velocidad) y orientación (frecuencia) del viento para cada serie horaria y para cada solsticio. El objetivo es analizar la tendencia del viento predominante y relacionarla con los intercambios convectivos y formas de isotermas en el espacio urbano, particularmente, en verano, estación en la cual se observa una intensidad mayor del viento. La radiación solar global se presenta en dos imágenes comparativas entre el solsticio de invierno (21 Junio) y el solsticio de verano (21 Diciembre) en la figura 20. El objetivo es múltiple, a saber:

- (i) Visualizar espacialmente los gradientes de irradiación solar incidente en el tejido urbano. ("entrantes" y no las "salientes" o emitidas por los acabados superficiales).
- (ii) Observar sus variaciones y distribución espacial en los espacios más o menos protegidos de la radiación según sea la estación.

- (iii) Relacionar estos gradientes con la volumetría y en particular con el ratio H/W y la orientación, parámetros componentes de la forma urbana del tejido.
- (iv) Comparar los espacios según la proporción de este ratio, pues eso conlleva a concluir configuraciones y radiaciones según sea la condición de acceso solar al espacio exterior.

A partir del análisis de resultados expresados en las figuras siguientes, figura 15 a la figura 20, se espera llegar a conclusiones que validen la hipótesis central de la presente investigación. Por ejemplo, se concluye que en el tejido B3, la distribución espacial de los parámetros higrotérmicos muestran una variación diurna: mañana respecto a la tarde; sin embargo, registran la misma variación estacional: invierno respecto al verano. Salvo al final de la tarde (20:00hrs), que podría verse modificado por el viento predominante: Norte en invierno y Sur-Oeste en verano, como lo muestran las figuras 17 y 18. Los mapas de isotermas señalan que durante la mañana las mayores temperaturas se registran en el borde Noreste del tejido para desplazarse en la tarde hacia el borde Noroeste. Este fenómeno podría explicarse por la existencia de una gran avenida pavimentada emplazada en el borde Noreste del tejido. Durante la tarde (16:00hrs), tanto en invierno como en verano, las máximas temperaturas del tejido se desplazan hacia el borde Oeste donde se ubica una calle local pavimentada. Estos acabados superficiales tienen una alta emisividad, particularmente cuando almacenan calor durante el día. La dirección predominante del viento en la tarde es Oeste en invierno y Sur Oeste en verano, como se ve en la figura 19, pero dada la orientación del edificio en su longitud mayor de fachada actúa como una barrera al viento, obstaculizando la ventilación. Se concluye que el ángulo acimutal de un 10% de las tipologías edificatorias y el espaciamiento entre los edificios, no es suficiente para facilitar una ventilación del tejido y así evitar las pequeñas islas de calor que se forman como resultado de los acabados superficiales y la configuración espacial de la arquitectura urbana.

Condiciones higrotérmicas de los tejidos urbanos residenciales

Del análisis visual se concluye que el comportamiento higrotérmico señala una relación inversa entre la temperatura y la humedad relativa, vale decir, a mayor temperatura suele registrarse una menor humedad relativa y viceversa. Esta tendencia suele manifestarse tanto en condiciones de invierno como de verano. Lo anterior puede ser explicado por la evaporación ocurrida en esas áreas cuando los suelos y atmósfera baja reciben la radiación solar, aumentando así la temperatura y secando el ambiente. Por tanto, un primer patrón de comportamiento higrotérmico espacial corresponde a una relación inversa entre la temperatura y la humedad relativa, respondiendo a leyes físicas. Una segunda conclusión es que la distribución espacial de las isotermas e isopletas cambia según el horario y la estación, vale decir no son fijas sino que cambiantes en el tiempo y en el espacio. Por tanto, un segundo patrón es el dinamismo de las variables temperatura y humedad en el palio urbano del tejido. Para efectuar un análisis pormenorizado, se analizan la condición de verano y la condición de invierno en ambos tejidos, de manera de comprender el orden de magnitud de los valores registrados.

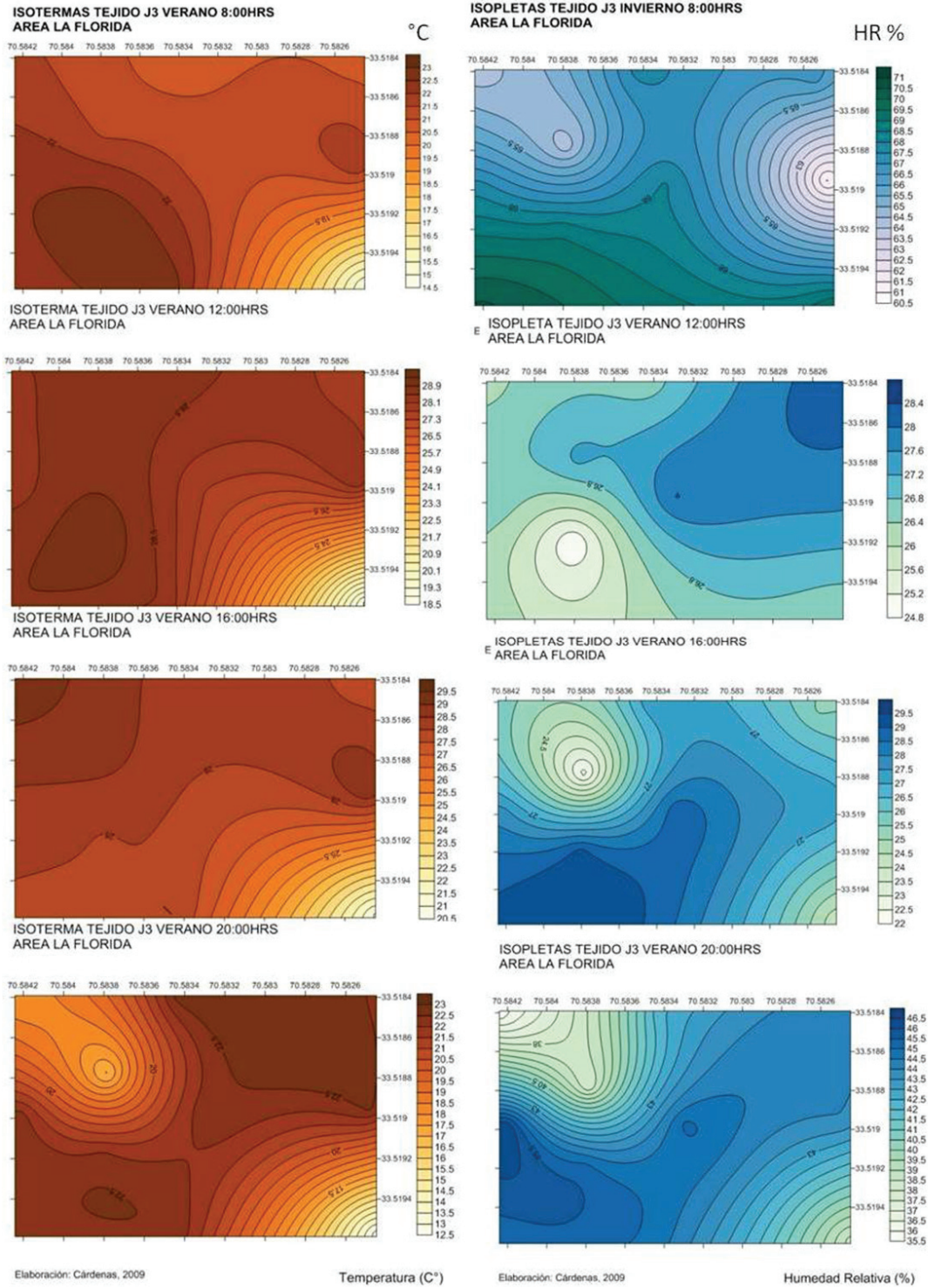


Figura 15. Distribución espacial horaria del comportamiento higrotérmico en tejido J3: Valladolid, verano.

Fuente: Elaboración propia (2009)

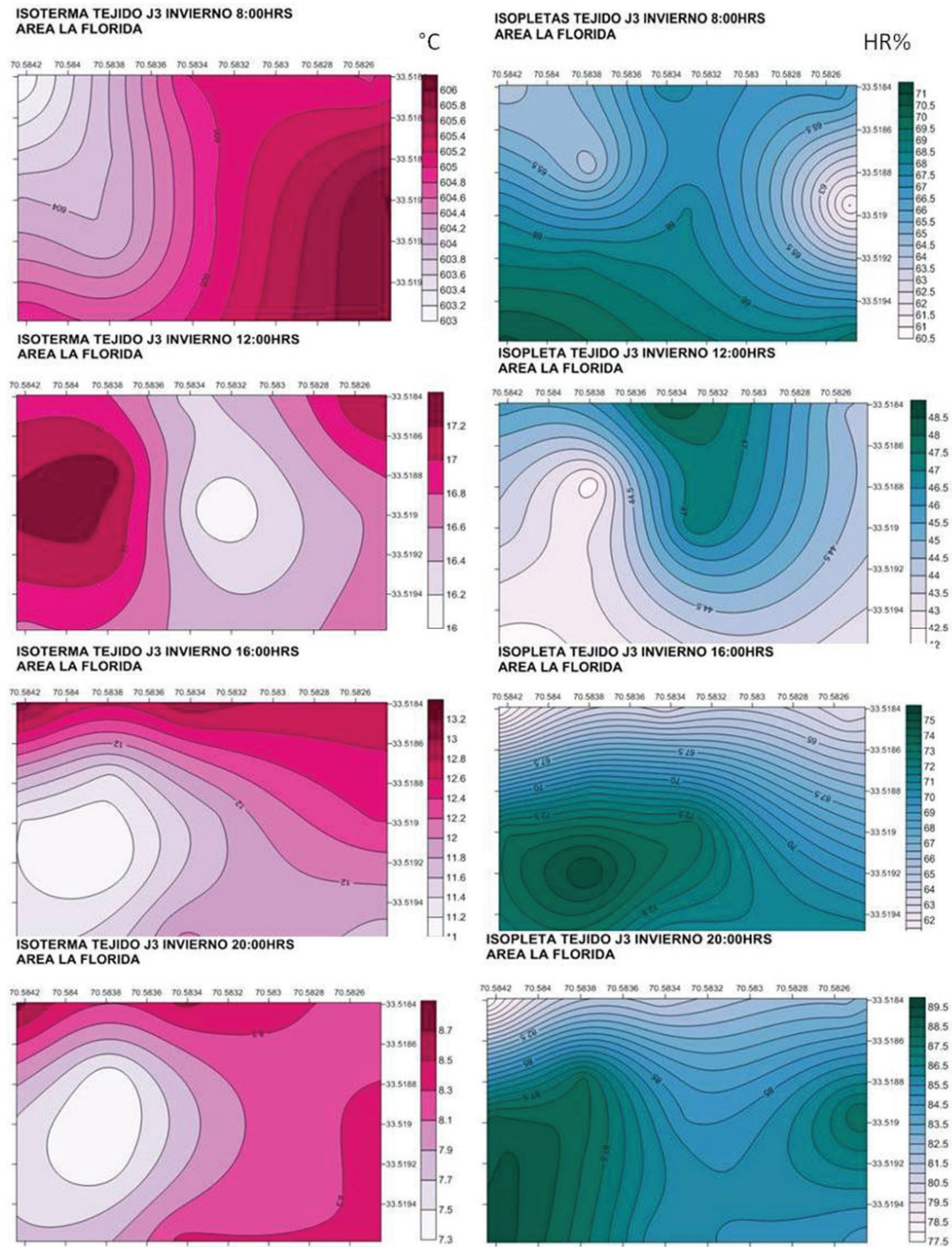


Figura 16. Distribución espacial horaria del comportamiento higrotérmico en tejido J3: Valladolid, invierno.

Fuente: Elaboración propia (2009)

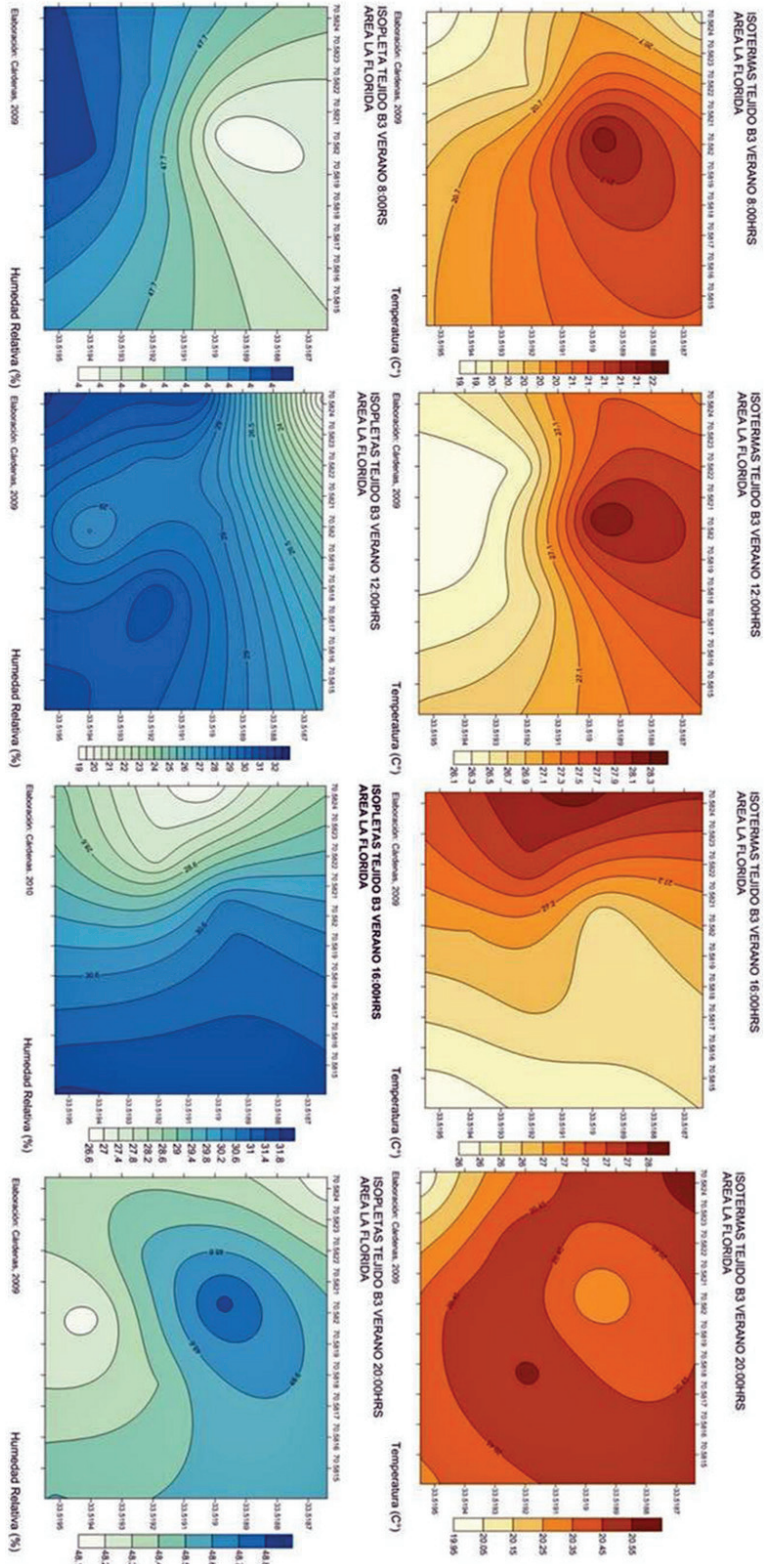


Figura 17. Distribución espacial horaria del comportamiento higrotérmico en tejido B3: Málaga, verano.
Fuente: Elaboración propia

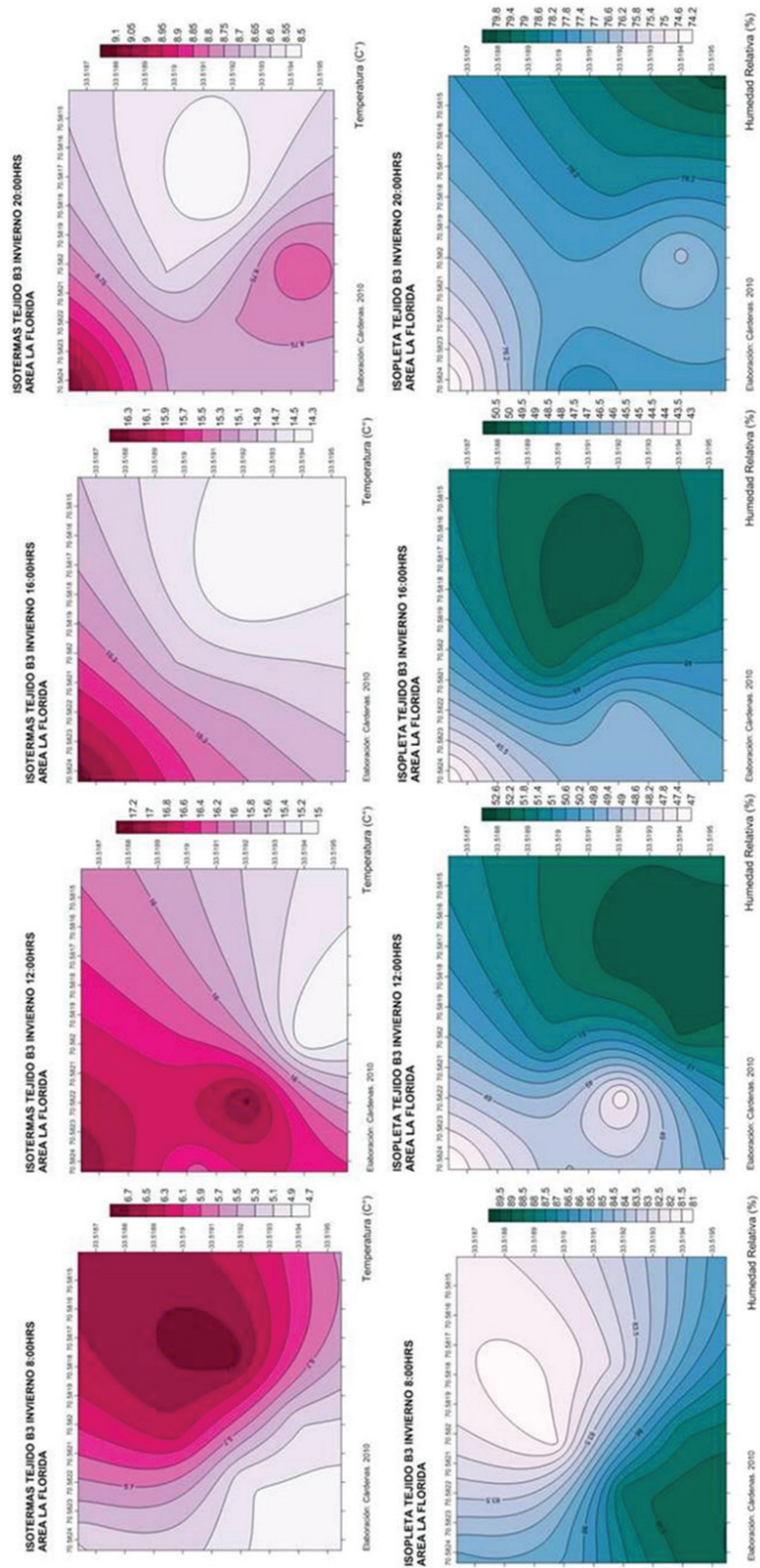


Figura 18. Distribución espacial horaria del comportamiento higrotérmico en tejido B3: Málaga, invierno.
Fuente: Elaboración propia

A) Tejido J3: Valladolid

Condición de verano: La amplitud térmica entre las temperaturas mínimas y máximas dentro del tejido alcanza unos 10°C, lo cual es muy significativo, pues excede el rango de confort de +-3°C, normalmente aceptado (Rodríguez, 2009). Las máximas temperaturas durante las horas críticas del verano, el mediodía y la tarde, registran 18.5°C y 29.5°C respectivamente. La humedad relativa registra una diferencia entre 4% a 7.5% en las horas de mayor temperatura durante el mediodía y la tarde, alcanzando valores entre un 22% y un 29.5%, lo cual se encuentra muy fuera del rango de confort permitido, que permite hasta un 30% de humedad relativa según diagramas psicrométricos. (Olgay 1963, Neila 2004). Las mayores temperaturas se concentran en el área Oeste del tejido urbano gran parte de los días, lo cual podría ser explicado por la obstrucción de la volumetría respecto a la continuidad de la calle en sentido Este Oeste que coincide con el barlovento predominante al mediodía en la estación estival. El viento Sur Oeste de la tarde es el de mayor magnitud llegando a los 2.5 m/s (figura 19), sin embargo no tiene un efecto importante que aminore la pequeña isla de calor, pues nuevamente se observa una volumetría continua, localizada al Sur del tejido urbano, que conforma la avenida. Sin embargo, se observa una menor temperatura a las 16:00hrs hacia el Este del tejido y en este caso hay una continuidad del cañón urbano de sentido Norte Sur, que facilita la ventilación. Se concluye respecto al tejido: la importancia que tiene la continuidad de las vías en el sentido predominante del viento para ventilar los espacios urbanos y disminuir así la temperatura ambiente en verano para hacerlo más confortable. Al final de la tarde (20:00hrs) se produce una diferencia de temperaturas en un espacio reducido provocando una diferencia de presiones y con ello un viento en el interior del tejido en los vértices NO y SE del área central. La vegetación de la plaza central no acusa diferencias significativas en el tejido urbano en las variables analizadas.

Condición de invierno: Las isotermas revelan al mediodía una coincidencia del área central Este de la plaza con las temperaturas más bajas. La amplitud térmica diurna en el interior del tejido urbano es mucho menor que en verano, pues solo alcanza 1.2°C a 2.2°C por la tarde; registrando entre 11°C a 13.2°C. Algo similar ocurre muy temprano en la mañana y final de la tarde, que llega a los 7.3°C

B) Tejido B3: Málaga

Condición de verano: El mapa de isotermas indica la existencia de nodo de calor durante el día para expandirse al final de la tarde por la casi totalidad del tejido urbano. Esta pequeña isla de calor o nodo va desplazándose, localizándose durante la mañana hacia el Noreste, al mediodía hacia el Norte, a media-tarde al Oeste y llegando al final del día, la masa de aire caliente domina casi todo el área Oeste-Norte y Este. La zona de menor temperatura del tejido durante la mañana corresponde al espacio central de las tipologías edificatorias, mientras que la zona de mayor temperatura corresponde al borde del tejido y vecino a una gran avenida o calle lateral pavimentada. Se puede concluir que la topología de los acabados superficiales influye en la temperatura de las masas de aire al igual que el ratio H/W de los espacios centrales intersticiales. La humedad relativa también presenta algunos desplazamientos durante los días. Al mediodía la mayor se encuentra localizada en el borde Sur Este del tejido que coincide con acabados superficiales de

césped y máscaras de vegetación compuesta por árboles, pero no es permanente esta coincidencia. Se concluye que tanto las pequeñas islas de calor como islas de frío observadas no son constantes durante el día en el tejido urbano B3.

Condición de invierno: La distribución espacial de las isotermas registra la misma variación que en verano, pero con un orden de magnitud distinto. En invierno, se registra una máxima de 17.2°C al mediodía y una mínima de 4.7°C a las 8:00hrs. La intensidad del viento no supera 1m/s lo que se considera calma y no refleja en forma significativa movimientos de masas de aire. La humedad relativa máxima de 52.6% tiende a coincidir al mediodía y la tarde con acabado superficial de vegetación herbácea y arbustiva en el tejido. Y por consiguiente, con la menor temperatura en ese horario, llegando a los 14.3°C. Durante la mañana, la mayor temperatura observada se encuentra hacia el Noreste y Este del tejido, lugar donde se emplaza avenidas y calles pavimentadas junto con acabado superficial de tierra y escasa vegetación. Se concluye que si bien los acabados superficiales de alta emisividad influyen en la temperatura de las masas de aire en el palio urbano, pero no es constante su influencia a lo largo del día.

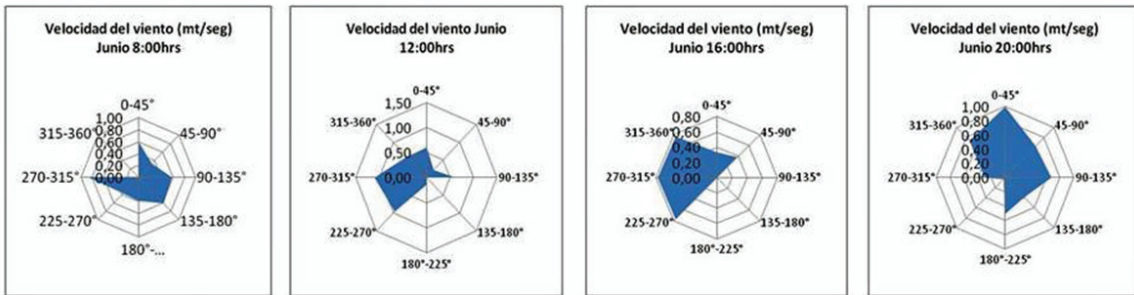
Rosa de los vientos

Se presenta en la figura 19 una serie horaria y estacional de los flujos de viento en el área de estudio de la Florida. En las láminas se observan las tendencias predominantes del viento según orientación e intensidad. La dirección por frecuencia del flujo indica que en invierno es cambiante según la serie temporal, así por ejemplo, en la mañana muy temprano hay un predominio de la dirección sur este para cambiar en dirección opuesta al mediodía: Noroeste. En cambio al principio de la tarde la dirección es oeste para cambiar a la dirección opuesta al final de la tarde, este. En verano, en cambio, se observa una clara tendencia proveniente del poniente, fluctuando entre el Noroeste, sur oeste en las mañanas y franco oeste durante la tarde. En suma, en invierno es cambiante y en verano es constante su orientación.

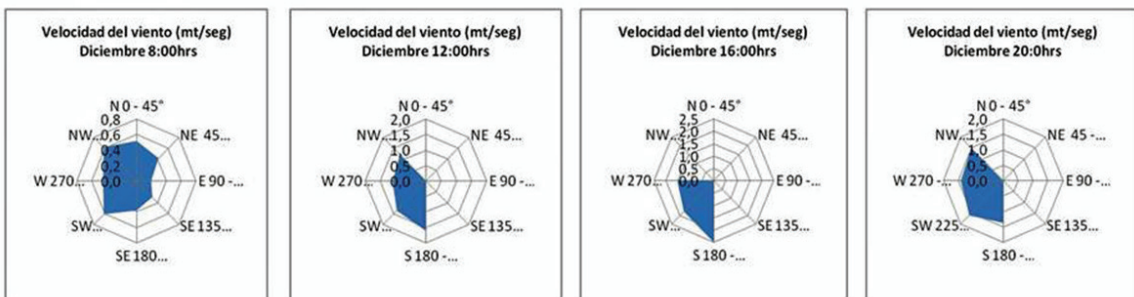
La intensidad del viento indica velocidades más bien bajas en invierno, entre 0,5 m/s y 1 m/s, correspondiendo las menores velocidades en las mañanas y las mayores en las tardes. En cambio en la estación estival aumenta su velocidad, mostrando una tendencia creciente a medida que el día avanza, pues nace con calores cercanos a 0.6 m/s, al mediodía supera 1m/s, por las tardes sobrepasa los 2 m/s y finaliza el día con 1,6 m/s. De lo anterior se concluye que en el período estival, la intensidad es superior al período de invierno, siendo constante el patrón de aumento por las tardes en ambas estaciones. Este comportamiento es relevante para el análisis ulterior de la integración con las variables higrotérmicas en los espacios exteriores.

SOLSTICIO DE INVIERNO

ROSA DE VIENTOS (velocidad)



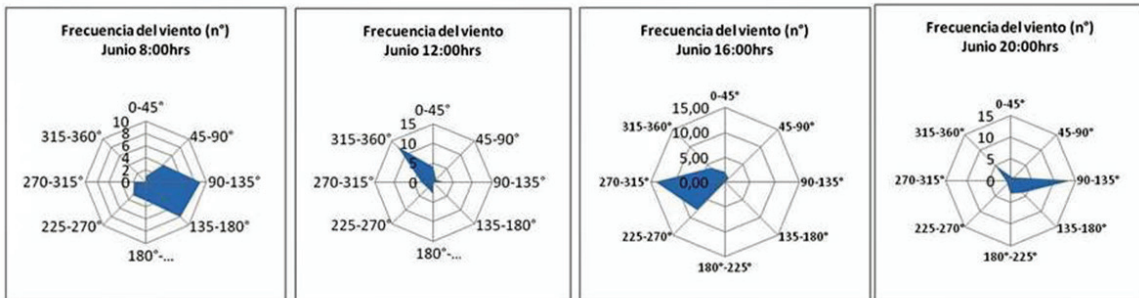
SOLSTICIO DE VERANO



Fuente: Base datos Estación La Florida. Elaboración: Cárdenas, 2010.

SOLSTICIO DE INVIERNO

ROSA DE VIENTOS (frecuencia)



SOLSTICIO DE VERANO

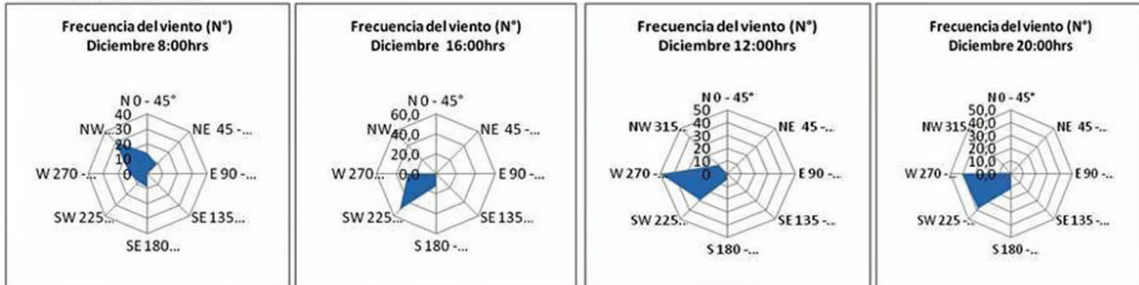


Figura 19. Rosa de vientos según velocidad y frecuencia en distrito La Florida.

Fuente: Elaboración de la autora, (2010) a partir de la Base de Datos de la Estación de La Florida

Mapas de radiación solar global sobre los espacios exteriores

En la figura 20 se indican los mapas de irradiación solar global incidente estimada para ambos solsticios. Las superficies ocupadas por edificios se indican con color azul, pues no llega radiación bajo ellos, en cambio si llega a los espacios exteriores. Estos muestran una graduación de colores que equivale a los distintos valores de radiación solar incidente, alcanzando las máximas radiaciones un color naranja escarlata.

La radiación global sobre los espacios exteriores del tejido J3 difieren entre el solsticio de invierno respecto al solsticio de verano, presentando un aumento de 15 veces aproximadamente. La máxima observada en invierno alcanza los 3667 Wh/m^2 mientras que en verano la máxima observada llega a los 14672 Wh/m^2 , prácticamente cuatro veces más. Los espacios exteriores presentan una dualidad de baja y alta radiación en invierno respecto al verano, color celeste y naranja fuerte; que corresponden a una radiación de 1222 y 3260 Wh/m^2 respectivamente. La comparación de espacios con similar ratio, pero distinta orientación indica que para un ratio igual a 1.5 de sentido E- O recibe 1222 Wh/m^2 , pero con sentido N-S alcanza 2037 Wh/m^2 . Se concluye que la orientación N-S es preferible si se busca en invierno una mayor radiación en el espacio exterior. En cambio en el verano, dada la altura solar, estos espacios reciben en forma homogénea la radiación. No obstante lo anterior, se observan diferencias según sea la orientación cardinal del espacio y su ratio. Por ejemplo, espacios con sentido Norte-Sur, pero distinta ratio H/W indican 2445 Wh/m^2 y 2852 Wh/m^2 ; con una ratio de 1 y 0.5 respectivamente en solsticio de verano. Se muestra una mayor radiación en la medida que disminuye el ratio. Si se modifica la orientación y se mantiene el ratio, se observa una radiación global de 10596 Wh/m^2 en sentido Norte-Sur respecto a 13041 Wh/m^2 en sentido este Oeste. Con lo cual se deduce que esta última orientación recibe mayor radiación.

La radiación global incidente sobre los espacios exteriores del tejido B3 difiere en invierno y el verano, pero no solo por el perihelio sino también por las obstrucciones solares producidas por los edificios y su configuración espacial. Es por ello que se observan situaciones distintas del centro respecto a la periferia del tejido urbano. En esta última, se observa una máxima de radiación equivalente a 3.672 Wh/m^2 en solsticio de invierno mientras que en verano llega a los 14.635 Wh/m^2 . El ratio H/W es 1 en sentido N-S del espacio exterior. En los espacios centrales se observa en invierno una menor radiación respecto a la periferia del orden de 1.224 Wh/m^2 y 1.632 Wh/m^2 , (color calipso y verde esmeralda); mientras que en los espacios intermedios situadas entre dos edificios y cercana a la periferia alcanza los 2.040 Wh/m^2 y 2.448 Wh/m^2 . (color verde y amarillo). Se concluye que en los espacios exteriores configurados por dos fachadas de orientación EO reciben una mayor radiación que aquellos espacios centrales configurados por tres fachadas con orientación E-N-O. En invierno serían preferibles estos espacios intermedios respecto a los centrales. En verano, los espacios centrales conformados por tres fachadas reciben una mayor radiación que los espacios intermedios conformados por dos fachadas de edificios en el Este y Oeste. Los valores de radiación global alcanzados son del orden de 11.383 Wh/m^2 y 6.504 Wh/m^2 , (color naranja claro y verde esmeralda) se reduce casi la mitad; lo cual es favorable para el verano. Se

concluye que la configuración espacial del tejido junto con la orientación de los espacios exteriores es relevante en la diferencia de valores observados en la irradiancia solar.

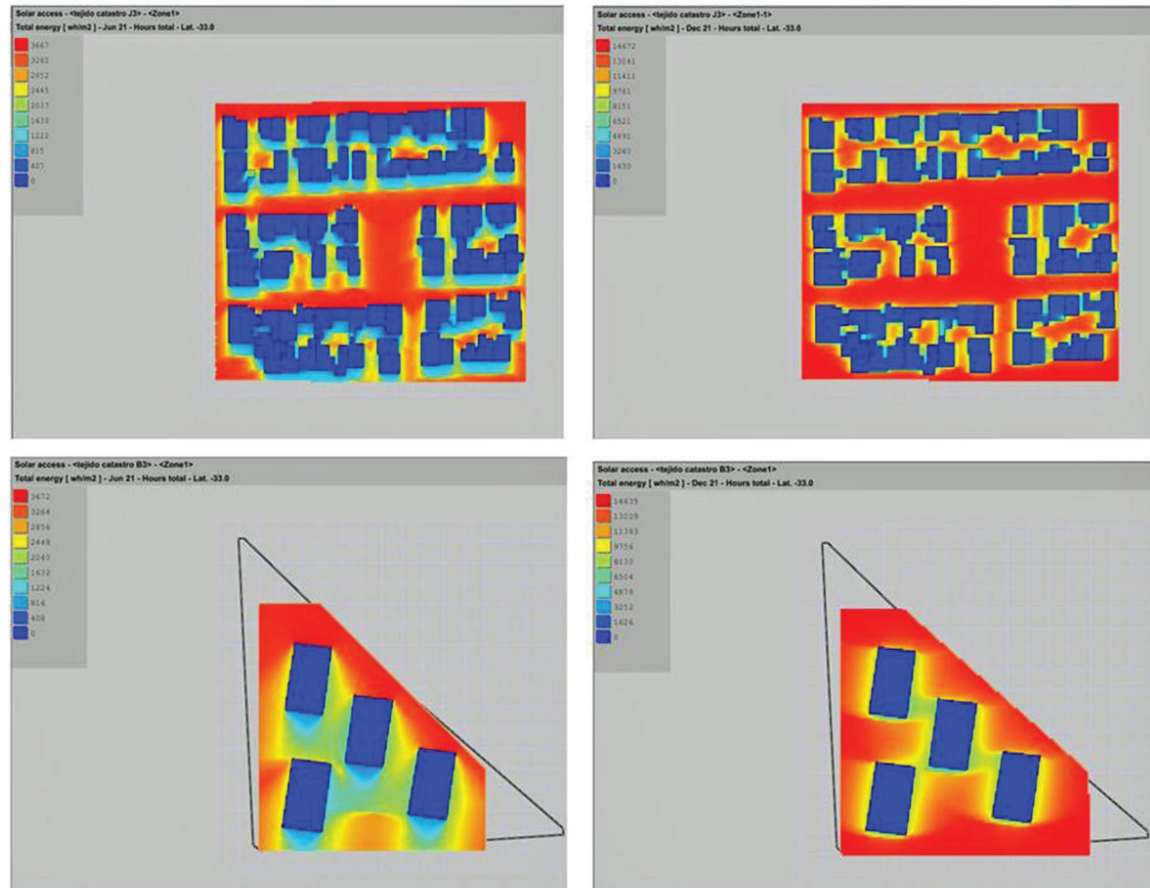


Figura 20. Irradiación solar incidente sobre tejidos urbanos J3: Valladolid y B3: Málaga. En invierno y en verano.

Fuente: Elaboración de la autora, 2009

Hasta ahora se ha verificado los resultados del comportamiento energético a través de las variables bioclimáticas y se ha interpretado según el marco conceptual. En conclusión, el análisis integrado de los parámetros bioclimáticos indica diferencias significativas entre las dos configuraciones espaciales de tejidos, en particular en periodo estival. Se detecta la existencia de un patrón en la distribución espacial de las variables higrotérmicas. En la variable irradiación solar incidente se observaron diferencias según ratio y orientación cardinal del espacio exterior. Para cuantificar las tendencias de comportamiento en los tejidos analizados conducentes a patrones se emplearon relaciones matemáticas.

6 HACIA UNA DEFINICIÓN DE PATRONES BIOCLIMÁTICOS

Las conclusiones respecto al planteamiento general de la investigación se refieren a un estudio paramétrico correlacional que diera cuenta de los intercambios energéticos entre la morfología urbana y su comportamiento energético en tejidos urbanos de la ciudad de Santiago de Chile. Recapitulando, el estudio paramétrico se realizó en base a un conjunto de constructos morfológicos derivados del análisis de los tejidos urbanos que fueran relevantes para la comprensión del desempeño energético, tales como:

- (i) Coeficientes de ocupación de suelo (%)
- (ii) Densidad volumétrica (m^3/ha)
- (iii) Ratio H/W (altura / ancho)
- (iv) Apertura de cielo (%)
- (v) Factor forma (0-1)
- (vi) Albedo (W/m^2)

Por otro lado, los constructos del desempeño energético arrojaron como resultante una información procesada relativa a:

- (vii) Climogramas de Bienestar Adaptado (CBA)
- (viii) Mapas de Isotermas
- (ix) Mapas de Isopleas de Humedad Relativa
- (x) Rosa de vientos
- (xi) Mapas irradiación sobre plano horizontal
- (xii) Tablas de albedos horizontales

En base a la integración y relación entre ambos constructos se llegó a demostrar las hipótesis y cumplir con el objetivo principal de la investigación que consistía en *caracterizar tejidos urbanos residenciales para descubrir un patrón morfo-climático*. Para ello, se planteaba la realización de un estudio experimental basado en un trabajo de campo junto con un estudio teórico basado en simulaciones computacionales, los cuales fueron realizados empleando las herramientas más apropiadas en cada caso. Los resultados demostraron que el rendimiento energético de los tejidos urbanos variaba según tipología y con ello fue posible descifrar un patrón bioclimático. Este conocimiento es aplicable a la planificación y al diseño urbano sostenible. En base al estudio precedente se ha constatado que existe un comportamiento higrotérmico diferencial entre los tejidos urbanos, particularmente en periodo estival. Los tejidos J (ciudad jardín), presentan mayores temperaturas y menores humedades relativas que los tejidos B (ciudad de bloque). Los factores explicativos de estas diferencias se basan principalmente en la configuración espacial del tejido urbano sobre las consideraciones físico térmicas y ópticas de los acabados superficiales y cerramientos. Para medir el grado de relación entre los factores explicativos se realizaron regresiones lineales que dieron como resultado altas correlaciones con un R^2 cercano a 0,9, lo que indica una gran influencia de los parámetros morfológicos. Entre ellos se testearon los siguientes:

- apertura de cielo,
- el factor forma de las tipologías edificatorias,
- el coeficiente de ocupación de suelo,
- la densidad volumétrica de los tejidos urbanos.

La distribución espacial de isotermas e isopletras de humedad relativa indicaron que los nodos de isla de calor o islas de frío son muy inestables en el tiempo, pues variaban a lo largo del día. Esta variación tiende a repetirse tanto en invierno como en verano, vale decir estacionalmente, aunque no en la totalidad de las series muestrales. Sin embargo, fue posible constatar algunos patrones que obedecen a leyes físicas de comportamiento: a mayor temperatura, se registraba una menor humedad relativa y viceversa en la gran mayoría de los casos. La topografía mostraba algunas pequeñas hondonadas y cimas, las cuales también influyeron en algunos valores máximos - mínimos registrados de temperatura y humedad relativa, pero no se mantenía constante esa manifestación durante el día. Las coberturas de suelo son muy similares entre los tejidos urbanos, pues se componen principalmente de tierra y pavimentos, no así la configuración espacial de los tejidos que difiere notablemente entre ellos. Por tanto, se concluye en esta investigación que la configuración espacial es más relevante que las propiedades físico-térmicas de las coberturas de suelos para interpretar un comportamiento energético en espacios públicos. En la figura 21 se presenta una estimación de los valores medios en cada parámetro morfológico y de cobertura de suelo a modo de síntesis, para comparar y fundamentar la aseveración realizada. En dicha tabla, se observa que el coeficiente de ocupación de suelo registra valores medios cercanos a 24% en los tejidos J, mientras que los tejidos B llegan a un poco más del doble con un 49,2%. El factor forma de los tejidos B presenta un valor medio de 0,27, en cambio en los tejidos J alcanza 0,87, un poco más del triple. La densidad volumétrica en los tejidos B entrega un valor medio de 30.285 m³/ha, lo que representa levemente más del doble que el valor medio en los tejidos J, con 14.950 m³/ha. La apertura de cielo visible en los tejidos J tiene un valor medio de 0,80, que equivale a un 50% más que el valor en los tejidos B, que indican un 0,56. De lo anterior, se concluye que los factores de morfología urbana son los más dispares entre ambos tejidos, por tanto cualquier diferenciación térmica entre los tejidos podría asociarse más fuertemente a factores morfológicos que a factores de acabados superficiales.

TEJIDOS URBANOS	PARAMETROS MORFOLOGICOS (valores medios)				PARAMETROS ACABADOS SUPERFICIALES (valores medios)		
	COS (%)	DV (m ³ /ha)	FF (0-1)	ACV ((0-100))	AS (% de superficies)		
					Pavimentos grises	Cubiertas vegetales	tierra
J Ciudad jardín	49,2	14.950	0,87	0,80	22,3	20,3	57,3
B Ciudad de bloque	24	30.285	0,27	0,56	21,3	22	56,6

Figura 21. Tabla de síntesis de constructos morfológicos en los tejidos urbanos Jardín y Bloque.

Fuente: Elaboración de la autora, 2009

Donde:

COS: coeficiente de ocupación de suelo

DV: densidad volumétrica

FF: factor forma

ACV: apertura de cielo visible

AS: acabados superficiales

En cambio, en los valores medios de los acabados superficiales prácticamente no existen diferencias entre los tejidos urbanos de ciudad jardín y los de ciudad de bloque. En efecto, las superficies de los pavimentos grises representan entre un 21% y un 22% según la tipología, en cubiertas vegetales representa entre un 20% y 22% y para los acabados de tierra entre un 56% y 57% aproximadamente. De lo anterior se infiere que, siendo prácticamente constante esta variable, la morfología urbana estaría determinando las diferencias de comportamiento térmico entre ambos modelos de ciudad. Este es un primer patrón observado en los tejidos urbanos residenciales.

6.1 Irradiación solar y morfología urbana

Por otra parte, existe un comportamiento de irradiación diferencial entre los tejidos urbanos, tanto en el período de invierno como en verano, según sea la orientación de la grilla y esto ocurre independientemente del ratio. En efecto, en invierno los tejidos J (ciudad jardín) presentan una mayor irradiación global incidente en la orientación Norte-Sur en invierno, en cambio los tejidos B (ciudad de bloque) la presentan en la orientación Este-Oeste. Esta observación es recurrente en las tipologías lo que la constituye en un patrón. En verano, los tejidos J presentan una mayor irradiación global incidente en la orientación Este-Oeste al igual que los tejidos B, aunque en éste último tienden a presentar menor dispersión de valores, en la mayoría de los casos. Lo anterior ocurre bajo la condición de disponer de una trama del tejido edificado en sentido cardinal de 90° respecto al azimut (Norte geográfico), pero si se gira esta misma trama en 30° sexagesimales, la irradiancia sobre plano horizontal cambia gradualmente. Por ejemplo, se reduce en un 10% si el sentido de las calles componentes de la trama es (NE-SO). Y se reduce en un 20% si el sentido de las calles componentes de la trama es (NO-SE). Este descubrimiento abre perspectivas para el diseño urbano y la planificación con criterios del manejo energético, vale decir aportar a la concreción de la ciudad sostenible.

Un examen riguroso del patrón recién observado lleva a construir la figura 22. En ellas, se muestran comparaciones de valores de irradiación para distintas configuraciones espaciales y geométricas (orientación, ratio H/W) según sea la condición de invierno o verano, y por cada tejido para así precisar aún más el patrón morfo-climático. Para ello, se seleccionaron espacios exteriores con ratio entre 0 y 0.5, ratio entre 0.5 y 1.0, y ratio entre 1.0 y 1.5 en cada tejido urbano y se comparó la irradiación incidente según fuera su orientación: Norte-Sur o Este-Oeste respectivamente. En el caso de los tejidos B, que no se disponía de espacios exteriores representativos de todas las orientaciones, se realizaron simulaciones girando en 90° la planimetría para obtener los valores requeridos y permitir una

comparación adecuada. Por ejemplo, orientación N-S con orientación N-S y así sucesivamente.

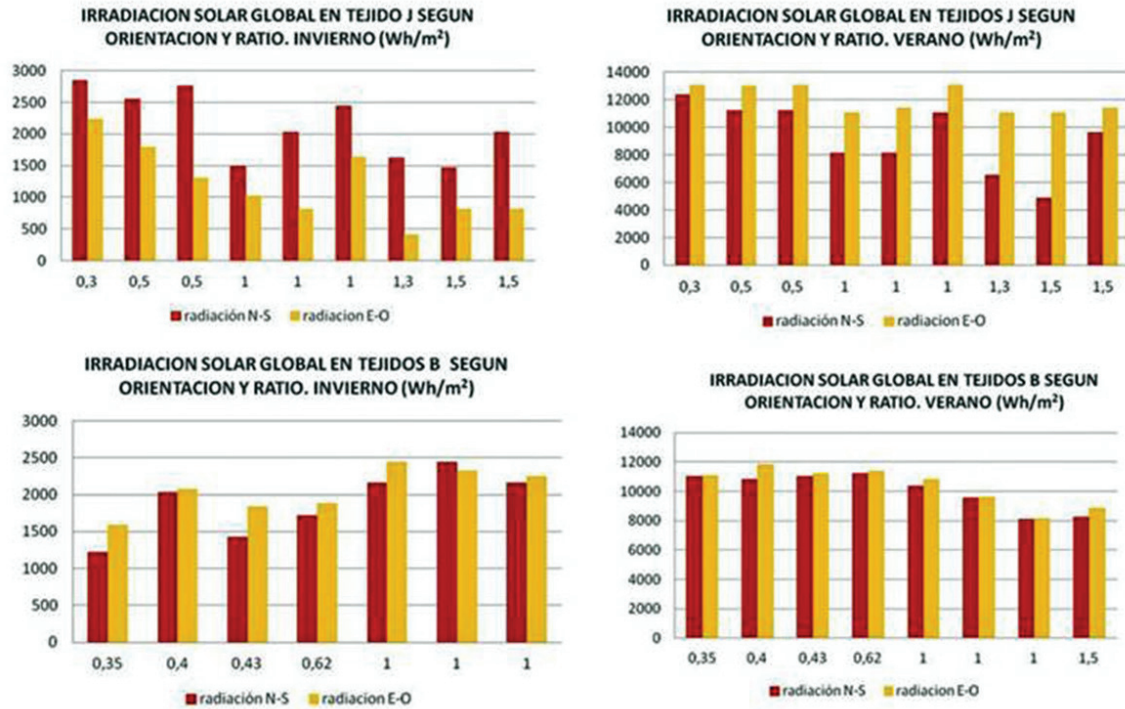


Figura 22. Comparación de valores irradiación sobre plano horizontal en el espacio exterior de los tejidos J y B según ratio y orientación, en invierno y verano.

Fuente: Elaboración de la autora, 2010.

La comparación pormenorizada según el ratio H/W indica que los valores máximos de irradiación solar global en invierno, en los tejidos J se alcanzan con $0 < r \leq 0.5$, mientras que en los tejidos B, se alcanzan con un ratio > 1.0 . En cambio en verano, los valores máximos de irradiación global se alcanzan en ambos tejidos con un ratio ≤ 1.0 . Se concluye que el ratio es un parámetro que permite graduar la radiación global sobre el espacio y fachadas. Se observa un patrón: a menor ratio hay una mayor irradiación global. Sin embargo, también se concluye que un espacio exterior con igual ratio y con igual orientación, para cada tipología de tejido, no presenta los mismos valores de irradiación. La altura parece ser otro parámetro explicativo de esta diferencia como también la radiación reflejada desde el espacio exterior. Con lo anterior, se ha verificado la hipótesis 1 referida a descubrir la existencia de un comportamiento diferencial entre los tejidos urbanos. Asimismo, se ha verificado la hipótesis 2 referida a descifrar un patrón,²¹ pues es posible caracterizar un

²¹ Patrón de comportamiento: es la forma esperada de una persona u organismo. Para C. ALEXANDER, en su libro el Lenguaje de patrones, sostiene que los patrones están organizados en estructuras "lógicas o intuitivas". Lo define como: "Cada patrón describe un problema que ocurre una y otra vez en nuestro entorno, para describir después el núcleo de la solución a ese problema, de tal manera que esa solución pueda ser usada más de un millón de veces sin hacerlo ni siquiera dos veces de la misma forma."

comportamiento energético asociado a un tipo de tejido urbano y según estación climática. Es importante señalar que estos resultados corresponden a un microclima particular localizado en una cuenca de valle central mediterráneo, de gran oscilación térmica, seco y régimen turbulento en verano, mientras que presenta una baja oscilación térmica, húmedo y calmas en invierno.

6.2 Comportamiento higrotérmico, vientos y morfología urbana

En relación al comportamiento higrotérmico y de viento se descubren también algunos patrones. A partir del análisis espacial de isotermas e isopletras, se desprende en primer lugar, que las isotermas son dinámicas y presentan variaciones en el espacio urbano durante el día. Por tanto, se deduce que las islas de calor o de frío son inestables en los tejidos urbanos observados, pues las series horarias registran un desplazamiento en las distintas orientaciones cardinales. Estos desplazamientos de las masas de aire caliente o frío, en algunos casos coinciden con la dirección del barlovento y los trazados de avenidas o calles anchas. En cambio, en otros casos, se observa una obstrucción volumétrica al viento o una sombra de viento que impide la ventilación del tejido. Las concentraciones de máximas temperaturas o humedades relativas en cada uno de los tejidos urbanos coinciden en algunos casos, con depresiones, o bien con avenidas y calles pavimentadas, o bien con espacios centrales arbolados, o con tipologías edificatorias distintas a viviendas que comprenden extensos volúmenes y espacios pavimentados. Se concluye que existen elementos topográficos y de morfología urbana que aparentemente influyen en los valores observados. Sin embargo, estos elementos tienen su efecto solo en alguna serie de tiempo registrada, pero no en forma constante a lo largo del día observado.

Al respecto, es importante señalar que los estudios de isla de calor efectuados en distintas ciudades del mundo y Chile, corresponden a mediciones en una serie de tiempo, que normalmente coinciden con el crepúsculo, pues allí se registran las máximas de temperatura entre el área urbanizada y el área no urbanizada. Los estudios clásicos de isla de calor se realizan además en una escala urbana que engloba a la ciudad en su totalidad, realzando la presencia de masas de agua o cuerpos vegetales de gran envergadura, tales como ríos, parques, esteros, etc.; lo cual acusa cambios significativos. En cambio, en la presente investigación, la unidad territorial es de un tamaño muy menor correspondiente a un vecindario, no alcanza a representar un distrito comunal. En esta unidad territorial de análisis no se observan cursos de agua ni masas vegetales significativas, salvo alguna arborización en las calles de un modo irregular. Por lo anteriormente expuesto, y en base a los antecedentes presentados, se concluye que no es posible identificar áreas térmicas del tejido asociables a cursos de agua o masas vegetales. Sin embargo, si se observa, mediante el análisis visual de las isotermas e isopletras del “polígono de acercamiento”, una tendencia térmica horaria que podría relacionarse con el albedo de pavimentos de las avenidas y/o la topografía.

Entre las similitudes observadas a través del análisis espacial se desprende que en la mayoría de los casos observados los registros de las variaciones estacionales

son similares, cambiando en orden de magnitud, pero conservando su distribución espacial. Por otro lado, se observa permanentemente una relación inversa entre la localización de la temperatura y humedad relativa, es decir en aquellos lugares que presentan las máximas temperaturas, registran también las mínimas humedades relativas y viceversa. Del análisis estadístico de los parámetros temperatura y humedad relativa del aire se concluyó que en verano los tejidos urbanos manifiestan un comportamiento térmico diferencial, pues presenta diferencias estadísticamente significativas, no así en invierno. Con ello se verifica la hipótesis 1. Para avanzar hacia la verificación de la hipótesis 2, se realizarán correlaciones entre los parámetros morfológicos y los meteorológicos a fin de descubrir patrones morfo-climáticos asociables al tejido urbano. Dado que la hipótesis anterior revela la existencia de un comportamiento diferencial en verano, se realizarán las correlaciones solo en esta estación, por considerarlo relevante. (Figura 23).

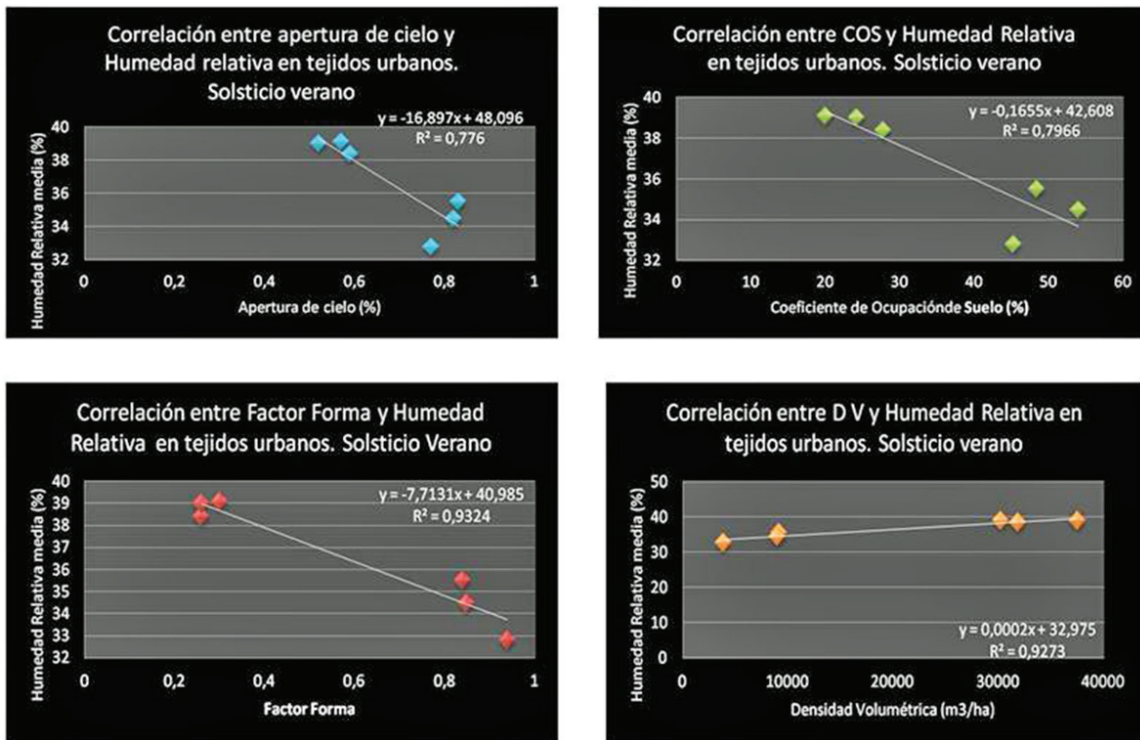


Figura 23. Correlación entre parámetros morfológicos y temperatura del aire (°C) en verano.

Fuente: Elaboración de la autora, 2009

En la figura 23 se presentan los gráficos de las correlaciones entre parámetros morfológicos y humedad relativa. Los parámetros morfológicos testeados fueron la apertura de cielo, el factor de forma, el coeficiente de ocupación de suelo, y la densidad volumétrica.²² Se han empleado correlaciones lineales porque son las más adecuadas a este tipo de análisis.

²² La correlación es una técnica estadística que mide el grado de relación entre las variables e indica tendencia y no necesariamente causalidad. Su utilidad estriba en medir las variables por separado y en

En la correlación entre apertura de cielo y temperatura media ambiente se observó un R^2 igual a 0,95, lo que indica una tendencia muy alta esperable en la siguiente relación: la temperatura del aire asciende en verano en la medida que aumente la apertura de cielo entre los espacios exteriores. En efecto, se observa que los tejidos J tiene una apertura de cielo visible mayor que los tejidos B y eso explicaría parcialmente la razón que observa una mayor temperatura en los tejidos J. Esta apertura facilita los intercambios de radiación entre la superficie de suelo y la masa de aire en el palio urbano, tanto en los flujos de entrada como de salida diurnos. En la correlación entre apertura de cielo y humedad relativa media del ambiente se observó un R^2 de sentido negativo igual a 0,776, lo cual es aun aceptable en determinar que existe un grado de relación entre las variables. También tiene consistencia el hecho de disminuir la humedad relativa en la medida que aumenta el acceso de radiación solar global, pues seca el ambiente en suelos urbanizados.

En la correlación entre el factor forma y la temperatura media ambiente se observó un R^2 igual a 0,94, lo que indica una tendencia muy alta que se interpreta como: en la medida que aumenta el factor forma de las tipologías edificatorias, se produce un aumento en la temperatura ambiente. Los tejidos urbanos J presentan un mayor factor forma respecto a los tejidos B lo que significa que pierden más calor debido a su tipología edificatoria. Este calor es transferido al ambiente exterior cuando hay un salto térmico, vale decir una diferencia de temperatura significativa entre el ambiente interior y el ambiente exterior.

En condición de verano, suele haber una mayor temperatura afuera de las viviendas respecto al interior de ellas, al mediodía y al principio de la tarde, pero no ocurre lo mismo temprano en la mañana y al final de la tarde. Dado que las mediciones se efectuaron en cuatro series de tiempo: 8:00h, 12:00h, 1600h y 20:00h, es razonable pensar que hubo efectivamente una transferencia de calor desde el interior hacia el exterior. En la correlación entre el factor forma y la humedad relativa media del ambiente se observó un R^2 igual a 0,93 de sentido negativo, lo que indica que a mayor pérdida de calor por las tipologías edificatorias se observa una menor humedad relativa en el ambiente. Eso se puede explicar porque aumenta la temperatura en el espacio exterior y no existiendo masas vegetales significativas, cuerpos de agua o suelos naturales no se produce evapotranspiración con el aumento de temperatura, que otorgue humedad al ambiente.

En la correlación entre el coeficiente de ocupación de suelo (COS) y la temperatura media ambiente se observó un R^2 igual a 0,88, lo que señala una tendencia alta entre ambas variables, lo cual se puede interpretar como que en la medida que aumenta el COS, también aumenta la temperatura ambiente exterior. En otras palabras, a mayor superficie de ocupación de suelo urbanizado se observa una mayor temperatura del aire. Este fenómeno podría explicarse por la reducción de superficie de suelo natural que en este lugar podría evaporar humedad durante el día proveniente del rocío nocturno y napas subterráneas. El suelo de pavimentos y la cimentación de los edificios impermeabilizan y sellan los terrenos impidiendo

consecuencia tiene un valor explicativo parcial. Si se descubre que hay una correlación con valores superiores a 0,8 en un rango de 0 a 1 se puede establecer las bases para predecir el valor de una variable, conociendo así el valor de la otra variable. (Hernández, 2006)

totalmente evaporación del suelo y con ello reduce notablemente la humedad relativa. Adicionalmente, el albedo de los acabados superficiales de calles y edificios es mayor que la tierra natural y con ello la radiación reflejada y aumento de temperatura. En la correlación entre coeficiente de ocupación de suelo (COS) y la humedad relativa media se observa un R^2 igual a 0,79, de sentido negativo, lo cual es aceptable e indica que a mayor COS se produce una reducción de humedad relativa. Esta tendencia tiene lógica si se observa que se reducen las posibilidades de evaporación del suelo, habida cuenta de la escasa vegetación.

En la correlación entre Densidad Volumétrica y temperatura media ambiente de los tejidos en verano se observa un R^2 igual a 0,94, lo cual indica una tendencia muy alta negativa según muestra la curva. Esto se interpreta como que en la medida que aumenta la densidad volumétrica se produce una disminución de la temperatura ambiente exterior. Esto podría explicarse por los espacios intersticiales en sombra que quedan entre las tipologías edificatorias; reduciendo así el acceso de radiación global incidente. El efecto en el tiempo es reducir el albedo junto con absorción y por ende la disipación posterior de radiación infrarrojo proveniente de los acabados superficiales y cerramientos. A diferencia del anterior, este indicador incorpora la altura y con ello el espacio exterior resultante, no solo la cobertura de suelo. En la correlación entre densidad volumétrica y humedad relativa media se observa un R^2 igual a 0,92 de sentido positivo, cuya curva indica que en la medida que aumenta la densidad volumétrica, también aumenta levemente la humedad relativa y esto podría tener explicación en la menor cantidad de radiación solar que penetre en los espacios intersticiales de las tipologías edificatorias y sombras arrojadas por ellas. La altura jugaría un papel importante en esta cualidad térmica.

De lo anteriormente expuesto, se deduce que hay evidencias empíricas en los tejidos urbanos que permiten afirmar con certidumbre que el comportamiento energético es diferente según sean la configuración espacial de los mismos. Este factor es determinante y como tal depende exclusivamente de la actividad proyectual, vale decir de la arquitectura como disciplina, y el urbanismo desde esa perspectiva. Con ello se verifica la hipótesis 2 en el sentido que es posible identificar algunas regularidades empíricas que se pueden denominar patrones morfo-climáticos y además poseen una expresión matemática. Estas regularidades son las siguientes:

En condición de verano:

1. A mayor apertura de cielo, tiende a registrarse una menor humedad relativa media con una probabilidad aceptable de 0,776 de ocurrencia y puede testearse con la siguiente relación matemática: $y = 16,897x + 48,096$
2. A mayor coeficiente de ocupación de suelo, tiende a presentarse una menor humedad relativa según la expresión siguiente: $y = 0,1655x + 42,608$ siendo "x" el coeficiente de ocupación de suelo.
3. A mayor factor forma, tiende a observarse una menor humedad relativa en el tejido urbano según la relación: $y = 7,7131x + 40,985$

4. A mayor densidad volumétrica en el tejido urbano, tiende a registrarse una leve mayor humedad relativa siguiendo la ecuación: $y = 0.00002x + 32,975$ siendo "x" la densidad volumétrica.

También se desarrollaron las correlaciones para la temperatura ambiente y se detectaron relaciones lineales con un altísimo grado de relación entre ambas variables. La variable bioclimática: el viento, tiene una influencia destacada particularmente en verano pues alcanza valores medios de 2,5 m/s en las tardes, lo cual contribuye a la generación de movimientos advectivos en los tejidos urbanos y con ello disipación de calor y reducción de temperaturas. En cambio en invierno, el predominio de las calmas hace que tenga una influencia mucho menor en la distribución espacial de las isotermas.

Se concluye finalmente que se han descubierto relaciones lineales que permiten predecir comportamientos de temperatura y humedad relativa en los tejidos urbanos; fundamentados en medidas observables que corresponden a un comportamiento real. En efecto, el conjunto de atributos morfológicos testeados como variable independientes marcan una clara tendencia respecto a las variables dependientes bioclimáticas, lo que permite afirmar con certeza que se ha llegado a caracterizar los tejidos urbanos residenciales y además se han descubierto patrones bioclimáticos. Con ello los objetivos planteados al inicio de la investigación han sido cubiertos y despejados. Estos descubrimientos del desarrollo de la presente tesis, basado en aproximaciones teóricas y empíricas, pueden constituirse en un valioso conocimiento para la planificación de la forma urbana con criterios de eficiencia energética.

6.3 Proyecciones

Una prognosis sugiere emplear las ecuaciones lineales y replicarlas en otras latitudes con microclima similar para validarlas en otras ciudades y de esta manera ir consolidando un nuevo conocimiento. Esto significa, por ejemplo, aplicar las ecuaciones encontradas en barrios residenciales consolidados y nuevas formaciones en la periferia. Así realizar una evaluación *ex antes* y *ex post* de un conjunto residencial mediante ambos instrumentos: la modelación matemática y la monitorización *in situ*.

La metodología diseñada puede ser aplicada en otros tejidos urbanos chilenos de tipo residencial tales como las tipologías de condominios, morfologías de fondo de saco (*cul de sac*), u otra, pues es factible realizar las mediciones higrotérmicas y simulaciones de irradiación con instrumentos manuales de fácil comprensión y traslado. Así, se podría buscar patrones de comportamiento térmico en otros tejidos. La utilidad práctica de este conocimiento es conocer las condiciones térmicas y tendencias durante la etapa de anteproyecto, vale decir, la concepción del diseño. Este hecho permitirá modificar propuestas de diseño urbano antes de la cuantiosa inversión de obra, con miras a optimizar el uso de recursos constructivos mediante una aproximación a niveles de confort térmico en los espacios exteriores. Esta última situación influye en las condiciones de confort térmico en el interior de

las viviendas y por ende, en su consumo de energía para el acondicionamiento térmico.

En la medida que se replique esta investigación en varios otros casos similares en microclima y tipologías de tejidos, y se verifiquen similares resultados, se proyecta estructurar normativas ambientales para el espacio público, de tal modo que se puedan regular o resguardar condiciones micro-climáticas mediante el diseño urbano. De esta manera, a futuro se pueden precisar ordenanzas generales de eficiencia, similares a lo que ocurre actualmente con la edificación, en el sentido de conocer los rangos de eficiencia y por ende llegar a proponer una certificación energética en barrios urbanos.

Otra línea futura de investigación es jugar con los distintos parámetros de diseño urbano empleados (COS, DV, FF, ACV) para mejorar el microclima local con propuestas que maten comportamientos térmicos orientados hacia rangos de confort térmico.

A nivel latinoamericano, es posible aplicar esta metodología y comparar con barrios en otras ciudades de similar o diferente clima y así abrir nuevos horizontes para la definición de patrones de comportamiento térmico en los tejidos urbanos de barrios residenciales.

El posible rendimiento energético de configuraciones espaciales de tejidos urbanos residenciales es posible estimarlo y así, contribuir a través de la disciplina, a reducir la huella de carbono en las futuras planificaciones urbanas del siglo XXI.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARI, H. (2009); *Cool roofs could save money, save planet*, California: ABC7 News.
- ASIMAKOPOULOS, D.N. (2001); Climate and climate change, en *Energy and Climate in the urban built environment*, Santamouris, M. (Ed.), pp. 19-32. London: James & James.
- ATHAMENA, Khaled (2008) *Indicateurs pour l'analyse de la contribution d'un projet urbain a l'ilot de chaleur*. Directeur: Marjorie MUSY. L'Université de Nantes. Master STEU Ambiances et formes urbaines.
- BAKER, N; STEEMERS, K. (2000); Energy and Environment en *Architecture. A Technical Design Guide*. London: E & FN Spon.
- BARTON, Hugh, DAVIES, Geoff. & GUISE, Richard (1995); *Sustainable settlements: a guide for planners, designers and developers*, Bristol: University of the West of England. LGMB.
- BAUMULLER, J. (2008); *Stadtklima 21 Grundlagen zum Stadtklima und zur Planung*, [CD-ROM]. Stuttgart: Office for Environmental Protection. City of Stuttgart. Department for Urban Climate.
- BELGICA. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, (1990); *Green paper on the urban environment*, Brussels: CEE.
- BETTINI, V. (1998); *Elementos de ecología urbana*. Madrid: Trotta. Serie medio ambiente.
- BRETZ, Sarah; AKBARI, Hashem; ROSENFELD, Arthur (1998); Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands, *Atmospheric Environment*, vol. 32, núm. 1, p. 95-101.
- CAPELUTO, Guedi (2003); Energy performance of the self-shading building envelope. *Energy and buildings*, vol. 35, núm.3, p. 327-336.
- CÁRDENAS, -JIRON, L.A. (1999); Urbanismo versus Urbanización: distintas modalidades de hacer ciudad. *Revista de Urbanismo*. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile, [Online], núm. 1, Diciembre 1999. Disponible en: <http://revistaurbanismo.uchile.cl/n1/indice.html> [Consulta: 5 de Mayo del 2009]
- CÁRDENAS-JIRON, L.A. (2000); La forma urbana del medioambiente construido: hacia una propuesta de estructuración para el instrumento Plan Regulador Comunal. *Revista de Urbanismo*. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile. [Online], núm. 3. Disponible en: <http://revistaurbanismo.uchile.cl/n3/indice.html>. [Consulta: 7 de Agosto del 2009]
- CÁRDENAS-JIRÓN, Luz Alicia; AZAR, Sleiman; TELLER, Jacques.(2006); Thermal characterization of urban fabrics using GIS and Townscope modelling tool. En: *Actas del Congreso Internacional EPIC - AIVC Technologies & Sustainable Policies for a radical decrease of the energy consumption in buildings*, Guarracino, C. (ed.). Lyon: Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, p. 81-88.
- CHEN, Liu; NG, Edward (2009); Sky View Factor Analysis of Street Canyons and Its Implication For Urban Heat Island Intensity. A GIS-based methodology applied in Hong Kong. En *Actas de Congreso internacional PLEA Architecture Energy and the Occupant's perspective*. Quebec, 2009.
- CHILE. MINISTERIO DE LA VIVIENDA Y URBANISMO. (2007); *Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica*. Santiago de Chile.
- CHILE. CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN, (2010); *Reacondicionamiento Térmico de viviendas en Uso*, Santiago de Chile: Corporación de Desarrollo Tecnológico.
- CHILE. COMISION NACIONAL DE ENERGIA, (2009). *Aprendamos a ahorrar. Guía Práctica de la buena energía*, Santiago de Chile.

CHILE. MINISTERIO DE LA VIVIENDA Y URBANISMO, (2009); *Ordenanza General de Construcciones*. Art. 4.1.10. [Homepage of Ministerio de la Vivienda y Urbanismo], [Online]. Disponible en: <http://mart.cl> [Consulta: 4 de Septiembre del 2008]

CHILE. MINISTERIO DE LA VIVIENDA Y URBANISMO, (2009); *Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social*. Bustamante, W. (ed.). Santiago de Chile.

CORREA, Erika.; GOUDEAU, Nicolás; DE ROSA, Carlos; LESINO, Graciela. (2004); Estudio de la estructura de la isla de calor urbana de la ciudad de Mendoza a partir de mediciones móviles en el área metropolitana, *Avances en Energía Renovables y Medioambiente*, vol. 8, no. 2, p 41-46.

CORREA, Erika; FLORES, Silvana.; LESINO, Graciela. (2003); Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. Informe de avance. *Avances en Energías Renovables y Medioambiente*, vol. 7, núm. 2, p. 11.25-11.30.

D´ALENCON, R. (2008); *Acondicionamientos. Arquitectura y Técnica*. Santiago de Chile: Ediciones ARQ. Pontificia Universidad Católica de Chile

DE LUXAN, M. (2004); Arquitectura integrada en el medioambiente, *Cuadernos de Investigación Urbanística*, [Online], núm. 41, p. Marzo 2004. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es>. [Consulta: 9 de Abril del 2010]

DE SCHILLER, Silvia. (2002); Transformación Urbana y Sustentabilidad. *Urbana*, vol. 7, núm. 31, p. 13-30.

DE SCHILLER, Silvia; MARTIN EVANS, John (1996); Training architects and planners to design with urban microclimates. *Atmospheric Environment*, vol. 30, núm. 3, p. 449-454.

DE SCHILLER, Silvia; MARTIN EVANS, John; KATZSCHNER, Lutz (2001); Isla de calor, microclima urbano y variables de diseño Estudios en Buenos Aires y Río Gallegos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 5, p. 1.45-1.49.

DE SOLÁ-MORALES, M. (1986); Prefacio a la edición castellana. Formas urbanas: de la manzana al bloque en *Formas urbanas: de la manzana al bloque*. P. Panerai, J. Castex & J.C. Depaule. (eds.) 2nd ed., Barcelona: Gustavo Gili. p. 9-11.

ENGUITA, A. (2008); *La ciudad contemporánea: análisis de su estructura y desarrollo*. Madrid: CEIM, Confederación Empresarial de Madrid CEOE.

ERELL, Evyatar; WILLIAMSON, Terence (2006); Simulating air temperature in an urban street canyon in all weather conditions using measured data at a reference meteorological station. *International Journal of Urban Climatology*, vol. 26, núm.12, p. 1671-1694.

ESPAÑA. CONSEJO SUPERIOR DE LOS COLEGIOS DE ARQUITECTOS DE ESPAÑA, (2007); *Un Vitrubio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*. Barcelona: Gustavo Gili.

ESPAÑA. JUNTA DE ANDALUCIA & CENTRO DE INVESTIGACION DE ENERGIA, MEDIOAMBIENTE Y TECNOLOGIA, (1994); *Control climático en espacios abiertos: evaluación del proyecto Expo'92*, Madrid: Alvarez, S., Cejudo J., Guerra, J., Molina, J., & Velásquez, R. Grupo de Termotecnia Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos.

EZQUIAGA, J.M. Rehabilitación y Reciclaje urbano [Homepage of CITUR, *Jornadas sobre "Obsolencias Urbanas"*, Sevilla], [Online]. Disponible en: www.laciudadviva.org [Consulta: 4 de Febrero del 2010]

EZQUIAGA, J.M. De la fragmentación a la fractalidad: las paradojas de la diversidad [Homepage of Campus Ultzama], [Online]. Disponible en: <http://archivo.scalae.net/ultima/JoseMariaEsquiaga.pdf> [Consulta: 12 de Diciembre del 2009].

FARIÑA TOJO, J. (1990); *Clima, territorio y urbanismo*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura. (ETSAM)

- FARIÑA TOJO, J. (2003); *Criterios ambientales en el diseño y la construcción de la ciudad*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- FARIÑA TOJO, J. (1998); *La ciudad y el medio natural*. Madrid: Akal.
- FARIÑA TOJO, J. (2004); *Textos sobre sostenibilidad II*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- FARIÑA TOJO, J.; NAREDO, J.M. (2010); *Libro blanco de la sostenibilidad en el Planeamiento Urbanístico Español*. Madrid: Ministerio de la Vivienda, Gobierno de España.
- FARIÑA TOJO, J.; POZUETA ECHEVARRI, J. (1995); *Tejidos residenciales y formas de movilidad*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- FUSTER RUFILANCHAS, A. (2005); *Hacia un nuevo espacio público: ocho propuestas para el Bulevar Bioclimático de Vallecas en Madrid*. Madrid: Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo.
- GALETOVIC, A. (comp.), (2006); *Santiago. Dónde estamos y hacia dónde vamos*. Santiago de Chile: Centro de Estudios Públicos.
- GALLION, A.; EISNER, S. (1986); *The Urban Pattern. City Planning and Design*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- GARTLAND, L. (2008); *Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas*. London: Earthscan.
- GIRARDET, H. (1992); *Ciudades: Alternativas para una vida urbana sostenible*, 2^ª ed. Madrid: Celeste Ediciones.
- GIRIDHARAN, Renganathan; KOLOKOTRONI, Maria. (2009); Urban heat island characteristics in London during winter. *Solar Energy*, vol. 83, núm.9, p. 1668-1682.
- GIRIDHARAN, Renganathan; GANESAN, Sivaguru; LAU, Stephen. (2004); Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential development in Hong Kong. *Energy and Buildings*, vol. 36, núm.6, p. 525-534.
- GIVONI, B. (1998); *Climate considerations in Building and Urban Design*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- GIVONI, B. (1976-1981); *Man, climate, and architecture*. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold.
- GOLANY, Gideon (1996); Urban design morphology and thermal performance. *Atmospheric Environment*, vol. 30, núm.3, pp. 455-465.
- GORE, Al. (2007); *Una verdad incómoda: la crisis planetaria del calentamiento global y cómo afrontarla*. Barcelona: Gedisa.
- GRAVAGNUOLO, B. (1998); *Historia del Urbanismo en Europa 1750-1960*. Madrid: Akal.
- GUERRAND, R.; CASTRILLO ROMAN, M. (2002); *La ciudad jardín cien años después*. Valladolid: Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid.
- HIGUERAS GARCÍA, E. (2002); *La Agenda Local 21: objeto, método y oportunidad*. Madrid: Master de Medio Ambiente y Arquitectura Bioclimática.
- HIGUERAS GARCÍA, E. (2006); *Urbanismo bioclimático*. Barcelona: Gustavo Gili.
- HIGUERAS GARCÍA, E. (2001); *Urbanismo y medio ambiente*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- HOUGH, M. (1995); *Cities and natural process*. London: Routledge.
- HOUGH, M. (1998); *Naturaleza y ciudad: planificación urbana y procesos ecológicos*. Barcelona: Gustavo Gili.

- JAUREGUI, Ernesto (1997); Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment*, vol. 31, núm.22, p. 3821-3831.
- JAUREGUI, Ernesto (1990); Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. *Energy and Building*, vol. 15, núm.16, pp. 457-463.
- JUCHMES, Roland; LECLERCQ, Pierre; AZAR, Sleiman. (2005); A freehand-sketch environment for architectural design supported by a multi-agent system, *Computer & Graphics*, vol. 29, núm.6, p. 905-915.
- LANDSBERG, H.E. (1981); *The Urban Climate*. New York: Academic Press.
- LAWSON, N. (2009); *Una mirada fría al calentamiento global*. Madrid: Gotaagota.
- LÓPEZ GÓMEZ, A., LÓPEZ GÓMEZ, J., FERNÁNDEZ GARCÍA, F. & MORENO JIMÉNEZ, A. (1993); *El clima urbano: teledetección de la isla de calor en Madrid*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Secretaría General Técnica. 1993.
- MAIZIA, M.; SÈZE, C.; BERGE, S.; TELLER, J.; REITER, S.; MÉNARD, R., (2009); Energy requirements of characteristic urban blocks. En: *Actas del Congreso Internacional CISBAT 2009 Renewables in a changing climate From Nano to Urban scale*. Lausanne: Scartezzini J.L. (ed.), LESO.
- MARTIN EVANS, John; DE SCHILLER, Silvia, (1996); Application of microclimate studies in town planning: A new capital city, an existing urban district and urban river front development, *Atmospheric Environment*, vol. 30, núm.3, p. 361-364.
- MILLS, Gerarld (2008); Luke Howard and the Climate of London, *Weather*, vol. 63, núm.6, p. 153-157.
- MORENO GARCÍA, M. (1993); *Estudio del clima urbano de Barcelona: la isla de calor*. Pamplona: Solgraf.
- NEILA GONZALEZ, F.J.; BEDOYA FRUTOS, C. (1997); *Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental*. Madrid: Munilla-Lería.
- OKE, T.R. (1987); *Boundary Layer Climate*, 2ª ed. London: Routledge.
- OKE, Tim R. (1981); Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *International Journal of Climatology*, vol. 1, núm.3, p. 237-254.
- OLGYAY, V. (1963); *Design with Climate: Bioclimatic approach to Architectural Regionalism*. New Jersey: Princeton University Press.
- PACHAURI, R.K. & REISINGER, A. (2008); Climate Change 2007: Synthesis Report . *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: Core Writing Team. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC.
- PANERAI, P.; MANGIN, D. (eds.). (2002); *Proyectar la Ciudad*, 2ª ed. Madrid: Celeste Ediciones.
- PANERAI, P.; DEPAULE, J.C.; DEMORGO, M.; VEYRENCHÉ, M. (1983); *Elementos de Análisis urbano*, 2ª ed. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local.
- PEARLMUTTER, David; BITAN, Arieh; BERLINER, Pedro. (1999); Microclimatic analysis of compact urban canyons in an arid zone, *Atmospheric Environment*, vol. 33, núm.24-25, p. 4143-4150.
- PLEA 2001 2010, PLEA 2001 Renewable energy for a sustainable development of the built environment [Homepage of universidad federal santa catarina], [Online]. Available: <http://www.labeee.ufsc.br/plea2001> [2001, [Consulta: 10 de Junio del 2009]
- RATTI, Carlo; BAKER, Noel; STEEMERS, Koen (2005); Energy consumption and urban texture, *Energy and Buildings*, vol. 37, núm.7, p. 762-776.

ROBINSON, Darren. (2006); Urban morphology and indicators of radiation availability, *Solar Energy*, vol. 80, núm. 12, p. 1643-1648.

RODRÍGUEZ, G. (2008); *Aislación Térmica Exterior. Manual de diseño para soluciones en edificaciones*. Santiago de Chile: Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción.

ROGERS, R. (2000); *Ciudades para un pequeño planeta*, 2ª ed. Barcelona: Gustavo Gili

ROMERO, Hugo, MOLINA, Melandra, VÁSQUEZ, Alexis. & SMITH, Pamela. (2008); El clima urbano del Puerto de Valparaíso: construcción social del espacio en ciudades costeras, *Revista da Faculdade de Letras da Universidade do Oporto-Geografia*, vol. II, núm. II, p. 107-126.

ROSSI, A. (1991); *The Architecture of the City*, 2nd ed. London: MIT Press.

SANTAMOURIS, M. (2001); *Energy and climate in the built environment*. London: James & James.

SANTOS PRECIADO, J.M. (2008); *Los Sistemas de Información Geográfica Vectoriales: el funcionamiento de ArcGis*. Madrid: UNED.

SARRICOLEA, P.; ROMERO, H. (2008); *Análisis de la sustentabilidad del crecimiento urbano de la ciudad de Santiago y sus efectos sobre la configuración de las temperaturas superficiales*. Santiago de Chile: Documento de Trabajo. Departamento de Geografía, Universidad de Chile.

SEREX. (2004); Estudios para el Plan Regulador Comunal de La Florida [Homepage of SEREX], [Online]. Disponible en: <http://www.e-seia.cl/archivos> [2004, Diciembre]. [Consulta: 12 de Diciembre del 2008]

STEEMERS, K.; MARYLIS, C.; RAMOS, C.; SINOU, M. (2002); Urban morphology. En *RUROS Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach*. 2nd ed. Greece: Centre for Renewable Energy Sources.

STONE, Brian; NORMAN, John (2006); Land use planning and surface heat island formation: A parcel-based radiation flux approach, *Atmospheric Environment*, vol. 40, núm.19, p. 3561-3573.

TELLER, Jacques. (2001); *La régulation morphologique dans le cadre du projet urbain. Spécification d'instruments informatiques destinés à supporter les modes de regulation performantiels*. Promoteur: Professeur Dupagne, A. These de doctorat. Liege: Faculté des Sciences Appliqués. Université de Liège.

UNGER, J., BALAZS, B.; GAL, T. (2009); Simulation of urban heat island patterns applying satellite derived 2D surface parameters. En: *Actas del Congreso Internacional 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology*. Mayer, Helmut; A. Matzarakis, Andreas (eds.). Freiburg: University of Freiburg. p. 33.

UNITED NATIONS (2010); *Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible* [Online]. Disponible en: <http://www.un.org/spanish> [Consulta: 5 de Septiembre 2009]

UNITED NATIONS (1993); *Agenda 21: Earth Summit - The United Nations Programme of Action from Rio*. Available: <http://www.un.org/esa/dsd/> [1993, April]. 2009-last update. [Consulta: 1 de Junio del 2009]

VELAZQUEZ-LOZADA, A., GONZALEZ, J.E. & WINTER, A. (2006); Urban heat island effect analysis for San Juan, (Puerto Rico), *Atmospheric Environment*, vol. 40, núm.9, p. 1731-1741.

YEZIORO, Abraham; CAPELUTO, Guedi; SHAVIV, Edna (2006); Design guidelines for appropriate insulation of urban squares, *Renewable Energy*, vol. 37, núm.7, p. 1011-1023.

LOS CUADERNOS DE INVESTIGACIÓN URBANÍSTICA publicados por el Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio desde el año 1993, difunden bimensualmente aquellos trabajos de investigación realizados en el área del Urbanismo, la Ordenación Territorial, el Medio Ambiente, la Planificación Sostenible y el Paisaje, que por sus características, muchas veces de investigación básica, tienen difícil salida en las revistas profesionales. Su objetivo es la difusión en lengua española de estos trabajos, en el convencimiento de que es necesario potenciar el uso de este idioma entre el mundo científico para conseguir alcanzar ámbitos de difusión a los que, de otra forma, no se podría acceder.

Su formato no es el convencional de una revista de este tipo, con artículos de diferentes autores que, en realidad, abordan aspectos parciales de cada trabajo, muy adecuados para la difusión y el conocimiento rápido de los mismos, pero que no pueden profundizar demasiado debido a su limitada extensión, sino que se trata de amplios informes de la investigación realizada que ocupan la totalidad de cada número. Esto permite, sobre todo a aquellos investigadores que se inician, el tener accesibles los aspectos más relevantes del trabajo y conocer con bastante precisión el proceso de elaboración de los mismos.

La realización material de los Cuadernos de Investigación Urbanística está a cargo del Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, garantizándose el respeto de la propiedad intelectual, pues el registro es siempre en su totalidad propiedad del autor. Está permitida su reproducción parcial en las condiciones establecidas por la legislación sobre propiedad intelectual citando autor, previa petición de permiso al mismo.

NORMAS DE PUBLICACIÓN

Las condiciones para el envío de originales se pueden consultar en la página web:
<http://www.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/publicaciones/ciurpublicar.html>

FORMATO DE LAS REFERENCIAS

Monografías: APELLIDOS (S), Nombre (Año de edición). Título del libro (Nº de edición). Ciudad de edición: Editorial [Traducción castellano, (Año de edición), Título de la traducción, Nº de la edición. Ciudad de edición: editorial].

Partes de monografías: APELLIDOS (S), Nombre (Año de edición). "Título de capítulo". En: Responsabilidad de la obra completa, Título de la obra (Nº de edición). Ciudad de edición: Editorial.

Artículos de publicaciones en serie: APELLIDOS (S), Nombre (Año de publicación). "Título del artículo", Título de la publicación, Localización en el documento fuente: volumen, número, páginas.

Asimismo, se recuerda que el autor tendrá derecho a cinco ejemplares gratuitos.

CONSULTA DE NÚMEROS ANTERIORES/ACCESS TO PREVIOUS WORKS

La colección completa se puede consultar en color y en formato pdf en siguiente página web:
The entire publication is available in pdf format and full colour in the following web page:

<http://www.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/publicaciones/ciurnumeros.html>

ÚLTIMOS NÚMEROS PUBLICADOS:

- 81 Enrique de la Villa Polo:** "Aspectos críticos en la evaluación ambiental de planes urbanísticos", 86 páginas, Marzo 2012.
- 80 Álvaro Sevilla Buitrago:** "Urbanismo y reproducción social. Una introducción a su historia", 66 páginas, Enero 2012.
- 79 Carlos Fernández Salgado:** "Democracia y participación: el Plan General de Madrid de 1985", 86 páginas, Noviembre 2011.
- 78 Alberto Dentice Bacigalupe:** "El Camino del Inca en el Norte Chico chileno", 82 páginas, Septiembre 2011.
- 77 Ricardo Alvira Baeza:** "Métodos de certificación de la sostenibilidad en proyectos urbanos", 110 páginas, Julio 2011.



PROGRAMA OFICIAL DE POSGRADO EN ARQUITECTURA

MASTER PLANEAMIENTO URBANO Y TERRITORIAL

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (UPM)

PREINSCRIPCIÓN DEL 15 DE MARZO AL 27 DE JUNIO

DIRECTOR DEL MÁSTER: Agustín Hernández Aja
PERIODO DE DOCENCIA: Septiembre 2010 -Junio 2011
MODALIDAD: Presencial y tiempo completo
NUMERO DE PLAZAS: 40 plazas
CREDITOS: 60 ECTS

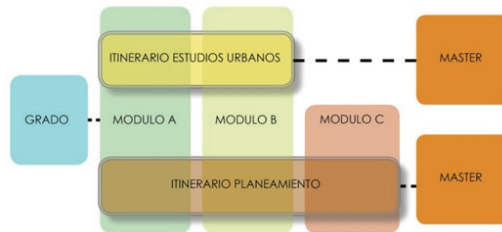
El Máster se centra en la comprensión, análisis, diagnóstico y solución de los problemas y la identificación de las dinámicas urbanas y territoriales en curso, atendiendo a las dos dimensiones fundamentales del fenómeno urbano actual: por un lado, el proceso de globalización y, por otro lado, las exigencias que impone la sostenibilidad territorial, económica y social. Estos objetivos obligan a insistir en aspectos relacionados con las nuevas actividades económicas, el medio físico y natural, el compromiso con la producción de un espacio social caracterizado por la vida cívica y la relación entre ecología y ciudad, sin olvidar los problemas recurrentes del suelo, la vivienda, el transporte y la calidad de vida. Estos fines se resumen en la construcción de un espacio social y económico eficiente, equilibrado y sostenible. En ese sentido la viabilidad económica de los grandes despliegues urbanos y su metabolismo se confrontan con modelos más maduros, de forma que al estudio de las técnicas habituales de planificación y gestión se añaden otras nuevas orientaciones que tratan de responder a las demandas de complejidad y sostenibilidad en el ámbito urbano.

El programa propuesto consta de un Máster con dos especialidades:

- Especialidad de Planeamiento Urbanístico (Profesional)
- Especialidad de Estudios Urbanos (Investigación Académica)

Se trata de 31 asignaturas agrupadas en tres módulos:

- MÓDULO A. Formación en Urbanismo.
- MÓDULO B. Formación en Estudios Urbanos e Investigación.
- MÓDULO C. Formación en Planeamiento.



Luis Felipe Alonso Teixidor
 María Teresa Borilla
 José Fariña Tojo
 José Miguel Fernández Güell
 Isabel González García
 Agustín Hernández Aja

PROFESORADO:

Ester Higuera García
 Francisco José Lamiquiz
 Julio Pozueta
 Fernando Roch Peña
 Felipe Colavidas
 Luis Moya
 Enrique Bardaji

Llanos Masía
 Ismael Guarner
 Ramón López de Lucio
 Enrique Yilla Polo
 Carmen Andrés Mateo
 Álvaro Sevilla

ENTIDADES COLABORADORAS:



ci[ur]

CUADERNOS DE INVESTIGACIÓN URBANÍSTICA

urban



Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España



Entidad Pública Empresarial de Suelo



Ayuntamiento Real Sitio de San Fernando de Henares

CONTACTO: masterplaneamiento.arquitectura@upm.es
www.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/masters/index.html

Otros medios divulgativos del Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio:

urban

REVISTA del DEPARTAMENTO de URBANÍSTICA y ORDENACIÓN del TERRITORIO
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

PRESENTACIÓN SEGUNDA ÉPOCA

DESDE el año 1997, **URBAN** ha sido vehículo de expresión de la reflexión urbanística más innovadora en España y lugar de encuentro entre profesionales y académicos de todo el mundo. Durante su primera época la revista ha combinado el interés por los resultados de la investigación con la atención a la práctica profesional, especialmente en el ámbito español y la región madrileña. Sin abandonar dicha vocación de saber aplicado y localizado, la segunda época se centra en el progreso de las políticas urbanas y territoriales y la investigación científica a nivel internacional. Ayer y hoy, nuestro objetivo es contribuir al desarrollo de las técnicas y modelos de ciudad y territorio, desde una perspectiva crítica y conjugando las ventajas de nuestra posición en la encrucijada entre el Norte y el Sur globales, entre Europa, el Mediterráneo y Latinoamérica.

Apoyándose en cuatro vectores de interés –carácter generalista y transversal, espíritu crítico, visión regional de los procesos globales y recuperación de la memoria de la disciplina– la nueva **URBAN** se propone servir de espacio para un debate en el que la planificación se juegue sus condiciones de posibilidad. Frente a la deriva disciplinar de las últimas décadas, frente al desplazamiento paulatino del lugar social de la planificación urbana y territorial en los modos de gobierno, nos parece urgente replantear el papel que ésta merece en las economías políticas de la producción de espacio.

CONVOCATORIA PARA LA RECEPCIÓN DE ARTÍCULOS: nº3- Los conflictos de la ciudad existente.

La crisis que tantas certidumbres ha desmontado ha puesto en evidencia la desnudez del discurso sobre lo urbano y la falsedad o inviabilidad de los escenarios en los que hasta hace muy poco se preveía su futuro. El gran relato del crecimiento indefinido y la hegemonía del proceso de urbanización moderno sobre todo el territorio, cabalgando sobre infraestructuras cada vez más costosas, a costa de consumir extensiones crecientes de territorio y de ir devorando su enorme patrimonio de formas alternativas, parece escasamente viable aunque no renuncie a mantener su dominio buscando nuevas configuraciones. Entre ellas y como en otras épocas anteriores la ciudad existente con su maduro caudal de recursos “no renovables” aunque cada vez más mermados, se convierte en la despensa de urgencia “para renovar” el arsenal de fórmulas de supervivencia del régimen de acumulación. Así, de forma contradictoria, lo no renovable nutre la renovación en una espiral de desposesión que mina las bases de la propia reproducción del sistema social y económico en su conjunto, es decir, de nuestra civilización.

A nuestras ciudades se les exige conservar su identidad, es decir ser espacios genuinos que nieguen en el imaginario social la uniformidad que imponen las reglas de juego de la economía avanzada del capital, y de la que cabe esperar pocas ocasiones de evolución. Precisamente, se les pide que alimenten sus circuitos de innovación, es decir, que contribuyan de forma decisiva a renovar las modalidades productivas y distributivas del régimen, sus productos, sus procesos de trabajo y sus mecanismos de circulación, para que aquél siga siendo competitivo en un mundo cada vez más incapaz de conservar sus propias condiciones de existencia. Al mismo tiempo, se les pide que sean los lugares fundamentales para desarrollar nuevos mecanismos reguladores capaces de corregir las patologías sociales derivadas de estas tensiones competitivas y las desigualdades crecientes que constituyen su sustancia y que el decreciente Estado del Bienestar agravará sin duda en el futuro.

Ante la imposibilidad de atender exigencias tan opuestas, cada vez más la intervención sobre la ciudad existente se mueve en el campo de lo ideológico, del imaginario, o de la virtualidad, manipulados. Muestra de ello es la confusión sobre la naturaleza y el alcance real de las fórmulas operativas que se utilizan y que reina sobre un vacío teórico cuidadosamente preservado desde la academia, las instituciones de la ciudad y del Estado y, en nuestro caso, de la propia Comunidad Europea, pero también desde las propias organizaciones ciudadanas confundidas entre los efectos de los procesos de elitización que se les presentan llenos de prestigio y los fenómenos de exclusión social y funcional que descomponen irreversiblemente nuestros otrora complejos tejidos urbanos.

La revista **URBAN** abre así, una convocatoria de estudios y reflexiones sobre estos problemas cruciales, con la intención de ofrecer nuevas aproximaciones tanto en el campo teórico como en la crítica sobre las intervenciones en la ciudad, la rehabilitación integrada, las nuevas centralidades, los procesos de elitización o gentrificación, los nuevos fenómenos de exclusión social, las repercusiones de actuaciones para el incremento de la movilidad en los tejidos internos y peatonalizaciones

Fecha límite para la recepción de artículos: 30-09-2011

Por último, se recuerda que, aunque La revista **URBAN** organiza sus números de manera monográfica mediante convocatorias temáticas, simultáneamente, mantiene siempre abierta de forma continua una convocatoria para artículos de temática libre.

DATOS DE CONTACTO

Envío de manuscritos y originales a la atención de Álvaro Sevilla Buitrago: urban.arquitectura@upm.es

Página web: <http://www.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/public/urban/info.html>



Consulta y pedido de ejemplares: ciur.urbanismo.arquitectura@upm.es

Web del Departamento de Urbanística y ordenación del Territorio: <http://www.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo>

Donde figuran todas las actividades docentes, divulgativas y de investigación que se realizan en el Departamento con actualización una actualización permanente de sus contenidos.

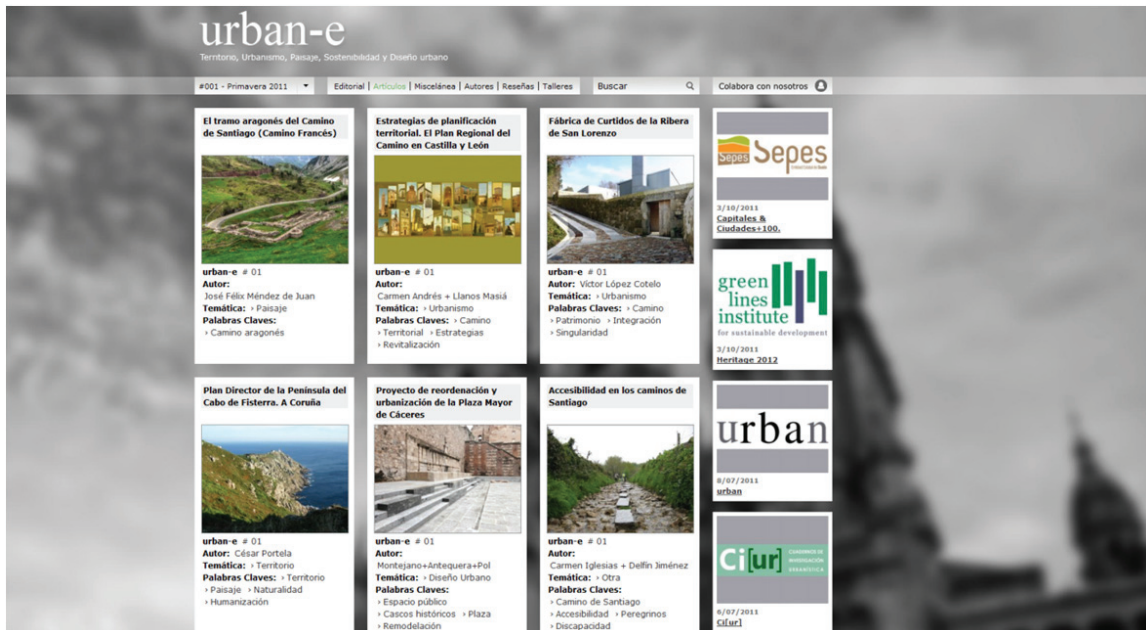
urban-e

Nace urban-e como hija de la revista académica urban y como colaboradora en la tarea de difundir el debate urbanístico con un enfoque que trata de establecer puentes entre el ámbito teórico y la intervención en la realidad, mediante el análisis de actuaciones ya realizadas o planes y proyectos.

La revista se centra en el territorio, el urbanismo, la sostenibilidad, el paisaje y el diseño urbano como campos de trabajo, abordando las distintas escalas en la construcción, la conservación o la puesta en valor de un medio siempre cambiante en el que el hombre debe vivir de la mejor manera posible, como ya decía Aristóteles. La revista apuesta por las nuevas tecnologías ya que su difusión será exclusivamente digital, y recogerá buenas prácticas en estas materias, abriendo un campo necesario a los profesionales del urbanismo para la difusión de sus trabajos, como contraposición a los de arquitectura, ésta convertida en estrella mediática tiene mayor eco en los medios y llega a la sociedad de manera cotidiana, ignorando el hecho de que la arquitectura precisa valorar el soporte e integrarse en el paisaje natural o urbano para expresarse correctamente.

Se pretende que sea una revista abierta en la que tengan cabida todo tipo de propuestas desde todas las disciplinas que intervienen en la construcción del territorio y de la ciudad. Se publicarán dos números monográficos al año, complementados con una sección de miscelánea, en la que tendrán cabida aquellos artículos que sobre cualquier tema lleguen a la redacción y sean seleccionados, así como trabajos de alumnos, tanto como reconocimiento a su esfuerzo como para propiciar su análisis y comparación para comprobar, desde experiencias de enseñanza distintas la bondad de los resultados.

NÚMERO EN CURSO: nº2 – Nuevas extensiones urbanas: el Ecobarrio como modelo (Otoño 2011)



The screenshot shows the website interface for 'urban-e'. At the top, the title 'urban-e' is displayed with the subtitle 'Territorio, Urbanismo, Paisaje, Sostenibilidad y Diseño urbano'. Below this is a navigation bar with a dropdown menu set to '#01 - Primavera 2011', links for 'Editorial', 'Artículos', 'Miscelánea', 'Autores', 'Reseñas', and 'Talleres', a search bar, and a 'Colabora con nosotros' button. The main content area is a grid of article thumbnails. Each thumbnail includes a title, a small image, the issue number 'urban-e # 01', the author's name, the thematic area, and key words. The thumbnails are:

- El tramo aragonés del Camino de Santiago (Camino Francés)**: Autor: José Félix Méndez de Juan. Temática: Paisaje. Palabras Claves: Camino aragonés.
- Estrategias de planificación territorial. El Plan Regional del Camino en Castilla y León**: Autor: Carmen Andrés + Llanos Masía. Temática: Urbanismo. Palabras Claves: Camino, Territorial, Estrategias, Revitalización.
- Fábrica de Curtidos de la Ribera de San Lorenzo**: Autor: Victor López Cobelo. Temática: Urbanismo. Palabras Claves: Camino, Patrimonio, Integración, Singularidad.
- Plan Director de la Península del Cabo de Fisterra. A Coruña**: Autor: César Portela. Temática: Territorio. Palabras Claves: Territorio, Paisaje, Naturalidad, Humanización.
- Proyecto de reordenación y urbanización de la Plaza Mayor de Cáceres**: Autor: Montejano+Antequera+Pol. Temática: Diseño Urbano. Palabras Claves: Espacio público, Cascos históricos, Plaza, Remodelación.
- Accesibilidad en los caminos de Santiago**: Autor: Carmen Iglesias + Dellín Jiménez. Temática: Oira. Palabras Claves: Camino de Santiago, Accesibilidad, Peregrinos, Discapacidad.

The sidebar on the right contains logos for 'Sepes' (3/19/2011), 'green lines institute' (3/19/2011), 'urban' (8/07/2011), and 'Ci[ur]' (8/07/2011).

DATOS DE CONTACTO:

Envío de manuscritos y originales a la atención de Mariam Leboeiro: urban-e.arquitectura@upm.es

Página web: <http://www.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/publicaciones/urban-e.html>