

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA DE BARCELONA
DEPARTAMENT DE CONSTRUCCIONS ARQUITECTÒNIQUES I
ÀMBITS DE RECERCA EN L'ENERGÍA I EL MEDI AMBIENT A L'ARQUITECTURA

TESIS DOCTORAL

MORFOLOGIA Y MICROCLIMA URBANO

**ANÁLISIS DE LA FORMA ESPACIAL Y MATERIALES COMO
MODELADORES DEL MICROCLIMA DE TEJIDOS URBANOS
MEDITERRANEOS COSTEROS.
EL CASO DE LA CIUDAD DE VALPARAISO**

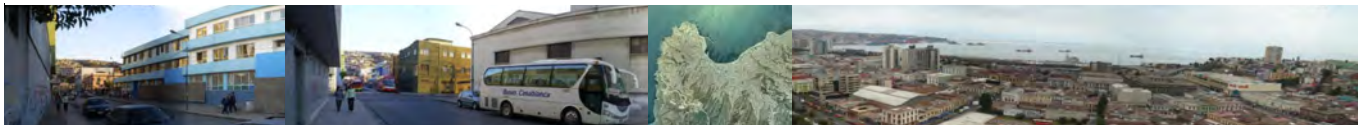
CLAUDIO CARRASCO ALDUNATE

**DIRECTORES
DR. JOAN LLUIS ZAMORA I MESTRE
DR. ANTONI ISALGUE BUXEDA**

VALPARAÍSO, BARCELONA, DICIEMBRE DE 2008.

MORFOLOGIA Y MICROCLIMA URBANO

ANALISIS DE LA FORMA ESPACIAL Y MATERIALES COMO MODELADORES DEL MICROCLIMA DE TEJIDOS URBANOS MEDITERRANEOS COSTEROS. EL CASO DE LA CIUDAD DE VALPARAISO



**CLAUDIO CARRASCO ALDUNATE
TESIS DOCTORAL
DICIEMBRE DE 2008**

MORFOLOGIA Y MICROCLIMA URBANO

ANALISIS DE LA FORMA ESPACIAL Y MATERIALES COMO MODELADORES DEL MICROCLIMA DE TEJIDOS URBANOS MEDITERRANEOS COSTEROS. EL CASO DE LA CIUDAD DE VALPARAISO

Tesis presentada por
CLAUDIO CARRASCO ALDUNATE

Para obtener el grado de
DOCTOR EN ARQUITECTURA

Directores
Dr. JOAN LLUIS ZAMORA I MESTRE
Dr. ANTONI ISALGUE BUXEDA

UNIVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA
ETSAB Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona
Departament de Construccions Arquitectòniques I
Programa de Doctorat
Àmbits de Recerca en l'Energia i el Medi Ambient a l'Arquitectura

Valparaíso, Barcelona, diciembre de 2008.

“Y como seguramente pensaba Adán, para conocer algo hay que primero nombrarlo.
Pero nombrarlo con su verdadero nombre...no es que nombrarlo nos otorgue
entendimiento de lo nombrado: conocer una cosa no garantiza que la entendamos”.
Alberto Manguel, en ANIMALIA, Antología de cuentos de JULIO CORTAZAR.

“Sin embargo, como se ha dicho ya, ninguna teoría sobre la vida le pareció tener
importancia comparada con la vida misma. Tenía honda conciencia de cuán estéril es
toda especulación intelectual al separarla de la acción y de la experiencia”.
Oscar WILDE en EL RETRATO DE DORIA GRAY.

“¿es el medio adecuado para el hombre? ¿ la adaptación lograda es adecuada al medio natural?
Ian MCHARG en PROYECTAR CON LA NATURALEZA

Quiero dedicar este trabajo al lugar de donde vengo:
A mis padres

y

al bichito que llevo en el corazón:
A Laurita

AGRADECIMIENTOS

Di vuelta mi forma de pensar y pude llegar a pensar en una sola cosa. Cuando proyecto pienso en todas a la vez...cuando investigo sólo en una, para luego pensar en el total. La manera complementaria de pensar de una y otra forma me abre los ojos a una realidad más amplia, más completa, más compleja, más real.

En este camino que he recorrido para llegar a esta etapa han participado muchas personas que me han ayudado y de las cuales y con las cuales he aprendido muchas cosas, aparte del valor del cariño y de la amistad, como es a usar imágenes satelitales, programa de simulación climática, de gráfica en 3D, hojas de cálculo y gráficos. Todo muy útil para este trabajo.

Agradezco los aportes, ánimos y ayudas de muchas personas. Entre ellos los de Isabel y Ricardo de la Dirección Meteorológica de Chile; de Soledad Torres y el CINFAV de la Universidad de Valparaíso; de Mónica Catalán y sus alumnos de Ingeniería en estadística de la Universidad de Valparaíso; de Roberto Sota de la Universidad Santa María; de Hugo Romero y su equipo de la Universidad de Chile; de Pablo Zarricolea; de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina (CONAE), por las imágenes satelitales facilitadas; de los estudiantes Carlos Ramírez, Miguel Guerrero, Angel Asencio, Vilma Contreras, Edson Guerrero, Karen Fierro de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Valparaíso; de Katherine González, Michelle Oliver e Iván Melillán; de Roberto, Marcela y Ariadna, por su cariño y recibimiento en Tarragona; de Rodrigo Králjevic, de Gonzalo Cruz y de Antonio Sepúlveda; de Jorge Parra de la Escuela de Diseño de la Universidad de Valparaíso; en especial de Rolando Biere, de Silvia Neira y de mi gran amigo Héctor Saavedra. Finalmente quiero agradecer a Alejandra y a Laurita, por su apoyo, cariño y compañía.

Agradezco al equipo de Recerca Arquitectura i Energía (EIA) del Departament de Construcció Arquitectòniques I de l'ETSAB, UPC.

Agradezco los consejos y apoyo permanente de mis directores de Tesis, Dr. Joan Lluís Zamora I Mestre y Dr. Antoni Isalgue Buxeda.

Finalmente agradezco a la Universidad de Valparaíso por el respaldo recibido. Este doctorado fue cursado con apoyo del proyecto Mecesus UVA 9901, del Programa MECE Educación Superior, del Ministerio de Educación del Gobierno de Chile y parte de esta investigación fue financiada por el proyecto DIPUV 50/05 de la Universidad de Valparaíso.

Claudio Carrasco Aldunate

Valparaíso, Barcelona, diciembre de 2008.

RESUMEN

La morfología de la ciudad es la mayor certeza de la intervención del hombre en el paisaje con el fin de dar lugar a un habitar resguardado y comunitario. No sólo por la forma en si, tan distinta de la de la naturaleza, sino también como un elemento determinante en el nuevo ambiente y en el nuevo clima creados.

Vemos en la historia, que en los inicios los asentamientos buscan dar forma a un hábitat que resguarde de los peligros, pero que también proteja del clima adverso que pudiese encontrar en el lugar de emplazamiento. Para ello da forma a los espacios construidos usando diversos elementos naturales y disponiendo las edificaciones de tal forma de crear un microclima que se ajuste más a sus necesidades. Lineamientos que incluso se plasma en tratados fundacionales para nuevas ciudades.

En la actualidad, por sobre la necesidad del confort climático en el espacio urbano, están la valoración económica, práctica, estética, etc. sin considerar que la forma del espacio de la calle es un elemento determinante de la calidad y habitabilidad de la ciudad.

En este sentido este trabajo analiza la relación entre la morfología urbana (como un elemento de diseño de la calle) y el microclima urbano del espacio conformado, con la finalidad de proponer sugerencias de diseño para la ciudad, que apunten a una mayor calidad climática y eficiencia energética de los tejidos urbanos de la ciudad de clima mediterráneo costero.

Se define un modelo de evaluación cualitativa y cuantitativa que aporta a las decisiones de emplazamiento y diseño de espacio de nuevos trozos y desarrollo urbano de la ciudad de estas características mediterráneas, determinando herramientas de diseño que arquitectónicamente permiten informar y evaluar la relación entre estos elementos espaciales: Se estima que a partir de la evaluación de los casos de estudio, se han identificado elementos de la morfología urbana y la topografía, que son incidentes, como factores, en el clima urbano y microclimas de ciudad.

Finalmente se piensa que con este trabajo se logra contribuir al mejor entendimiento de cómo las formas y materiales del espacio urbano participan en la determinación de los microclimas existentes en tejidos urbanos de clima mediterráneo costero.

ABSTRACT

The city morphology is the greater evidence of human habitation and intervention on the natural landscape aimed both at individual protection and community living. It is an intervention that modifies not only the landscape but also one that determines the new created environment and climate.

Throughout history we have seen that from their formation these settlements have sought to give shape to a dwelling place which should protect its dwellers from the hazards and dangers of nature, those of climate included. To this end they give shape to the built spaces using various natural elements and displaying the built space in such a way so as to create a micro-climate adjustable to their needs. Layouts which are recorded in the foundation projects for new cities are testimonies of this search.

Nowadays, above the climate comfort need in urban spaces are economic, esthetic and plastic valuations without considering that the space shape of the street is a determinant element of quality and city habitation.

In this respect, this research analyzes the relationship between urban morphology (as a street design element) and the micro-climate of the urban space so as to propose design suggestions for the city aiming at better climate quality and energetic efficiency on the city in a coastal Mediterranean climate.

Our dissertation report offers a quantitative and qualitative assessment model to improve decision making concerning location and space design of new sites of these Mediterranean traits, identifying design tools to enhance the evaluation of the relationship between these spatial elements. As a matter of fact, the assessment of this relationship in the study cases of our research has revealed factors of the space morphology and topography which appear to have a significant influence on the urban climate and city micro-climates.

Finally, it is believed that this research contributes to the best understanding of how shapes and materials of the urban space take part in the determination of existing coastal Mediterranean micro-climate urban nets.

TABLA DE CONTENIDOS		Página
	Agradecimientos	11
	RESUMEN	13
	ABSTRACT	14
PRESENTACION		21
	ESTRUCTURA DE LA TESIS	21
CAPITULO 1	INTRODUCCION GENERAL	25
	Indice Capítulo 1	25
1.1	INTRODUCCIÓN: EXPOSICIÓN DE MOTIVOS Y ALCANCES	27
1.2	PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DISCIPLINAR	28
1.3	HIPÓTESIS	29
1.4	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	29
1.5	JUSTIFICACIÓN CASO DE ESTUDIO GENERAL: VALPARAÍSO	30
1.6	ESTRUCTURA DEL TRABAJO INVESTIGATIVO	31
CAPITULO 2	ESTADO DEL ARTE:	33
	Indice Capítulo 2	33
2.1	ANTECEDENTES TEORICOS GENERALES	35
2.1.1	CLIMA, GEOMETRÍA Y TRAZADO URBANO	36
2.1.1.1	Forma de trazado y clima	36
2.1.1.2	Clima templado - Mediterráneo	39
2.1.2	TRATADOS FUNDACIONALES Y MODELAMIENTO DEL CLIMA EN LA CIUDAD PLANIFICADA	44
2.1.2.1	Elección del sitio	51
2.1.2.2	Forma del trazado	53
2.1.2.3	Dirección y proporción de calles	55
2.1.2.4	Caracterización de plazas	57
2.1.2.5	Salud y clima	58
2.1.3	CONCLUSION PARCIAL. PALABRAS FINALES	59
2.2	ANTECEDENTES TEORICOS PARTICULARES	65
2.2.1	CLIMA URBANO	66
2.2.1.1	Clima urbano y escalas climáticas	66
2.2.1.2	Palabras finales	76
2.2.2	FORMA EDIFICADA Y TEMPERATURA DEL AIRE	77
2.2.2.1	Temperatura del aire en la sección de la calle	81
2.2.2.2	Materiales urbanos y temperatura del aire	81
2.2.2.3	Palabras finales	82

		Página
2.2.3	FORMA EDIFICADA Y HUMEDAD DEL AIRE	84
2.2.3.1	Palabras finales	87
2.2.4	FORMA EDIFICADA Y COMPORTAMIENTO DEL VIENTO EN EL ESPACIO URBANO	88
2.2.4.1	Forma del tejido edificado y comportamiento del viento urbano	89
2.2.4.2	Densidad de edificación	100
2.2.4.3	Palabras finales	104
2.2.5	FORMA EDIFICADA Y RADIACIÓN EN EL ESPACIO URBANO	105
2.2.5.1	Forma del tejido edificado y radiación en microclima urbano	106
2.2.5.2	Geometría y orientación	108
2.2.5.3	Albedo urbano	112
2.2.5.4	Palabras finales	117
2.2.6	FORMA EDIFICADA Y CONSUMOS DE ENERGÍA EN EL ESPACIO URBANO	118
2.2.6.1	Energía originada en las edificaciones	118
2.2.6.2	Forma del tejido y energía de movilidad	120
2.2.7	CONCLUSION PARCIAL. PALABRAS FINALES	122
2.2.8	MODELOS CLIMÁTICOS MORFOLÓGICOS	125
2.2.8.1	Modelos cualitativos del clima urbano	127
2.2.9	FACTORES DE EMPLAZAMIENTO Y SU RELACIÓN CON EL CLIMA URBANO	132
2.2.9.1	Emplazamiento y clima urbano	132
2.2.9.2	Sobre la topografía	132
2.2.9.3	Sobre los cuerpos de agua	139
2.2.10	CONCLUSION PARCIAL. PALABRAS FINALES	142
CAPITULO 3	DESCRIPCION CASO DE ESTUDIO: VALPARAISO CIUDAD	145
	Indice Capítulo 3	145
3.1	HISTORIA DEL CRECIMIENTO URBANO DE VALPARAÍSO	147
3.2	EL CRECIMIENTO Y POBLAMIENTO DE LA CIUDAD	149
3.3	SITUACIÓN TOPOGRÁFICA GENERAL	154
3.4	CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS: VALPARAÍSO Y TEJIDOS URBANOS	155
3.5	TEJIDOS GEOMÉTRICOS Y TEJIDOS ORGÁNICOS DE VALPARAÍSO	159
3.6	DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO CLIMÁTICO DE LA CIUDAD	161
3.7	CONCLUSION PARCIAL. PALABRAS FINALES	167
CAPITULO 4	ESTUDIO DE CASOS. INVESTIGACION DE CAMPO	169
	Indice Capítulo 4	169

	Página
CONTENIDO	173
4.1 ESTUDIO UNO: CLIMA URBANO EN VALPARAÍSO	174
4.1.1 DESCRIPCIÓN	174
Valparaíso ciudad: Recorrido de transectos	176
Valparaíso ciudad: Temperatura urbana invierno	177
Ejemplo Transecto 3	178
4.1.2 ANÁLISIS de TRANSECTOS URBANOS	179
4.1.3 ANÁLISIS DE CONJUNTO	183
4.1.4 DISCUSIÓN	186
4.1.5 CONCLUSIÓN ESTUDIO UNO	187
4.2 ESTUDIO DOS: MICROCLIMA URBANO EN VALPARAISO	189
4.2.1 DEFINICIÓN DE TIPOLOGÍAS TOPOGRÁFICAS	189
4.2.2 DEFINICIÓN DE TIPOLOGÍAS MORFOLÓGICAS	189
4.2.3 DEFINICIÓN TEJIDOS Y CASOS DE ESTUDIO A PARTIR DE LAS TIPOLOGÍAS DEFINIDAS	190
4.2.3.1 Condición topográfica de emplazamiento continua	190
4.2.3.2 Forma espacial homogénea o características morfológicas comunes	190
4.2.3.3 Programa de las edificaciones	190
4.2.4 DEFINICIÓN ZONAS DE ESTUDIO	191
4.2.5 DEFINICIÓN CASOS PUNTUALES DE ESTUDIO	194
4.2.5.1 Ubicación casos puntuales	197
4.2.6 EVALUACIÓN CUANTITATIVA DEL CLIMA URBANO DE LOS CASOS DE ESTUDIO	197
4.2.6.1 Características morfológicas a evaluar	198
4.2.6.1.1 Orientación	198
4.2.6.1.2 Factor de Cielo Visible	198
4.2.6.1.3 Factor de Altura Relativa calle (FHR)	201
4.2.6.1.4 Ancho de calle	203
4.2.6.1.5 Relación Alto – Ancho Calle (H/W)	203
4.2.6.2 Variables climáticas de estudio	205
4.2.6.3 Criterios de mediciones en cada caso de estudio	205
4.2.6.4 Fechas de evaluación	205
4.2.7 PRESENTACIÓN Y ESTUDIO ZONA 1	207
4.2.7.1 Situaciones puntuales zona 1	213
4.2.7.2 Descripción morfológica puntual zona 1	229
4.2.7.3 Gráficos de comportamiento microclimático puntual	233
4.2.7.4 Análisis de variables climáticas en casos puntuales zona 1	239
4.2.8 PRESENTACIÓN Y ESTUDIO ZONA 2 (2A - 2B - 2 C)	243
4.2.8.1 Presentación y estudio zona 2 A	248

		Página
4.2.8.1.1	Situaciones puntuales zona 2 A	250
4.2.8.1.2	Descripción morfológica puntual zona 2 A	264
4.2.8.1.3	Gráficos de comportamiento microclimático puntual	267
4.2.8.1.4	Análisis de variables climáticas en casos puntuales zona 2 A	274
4.2.8.2	Presentación y estudio zona 2 B	279
4.2.8.2.1	Situaciones puntuales zona 2 B	281
4.2.8.2.2	Descripción morfológica puntual zona 2 B	287
4.2.8.2.3	Gráficos de comportamiento microclimático puntual	290
4.2.8.2.4	Análisis de variables climáticas en casos puntuales zona 2 B	297
4.2.8.3	Presentación y estudio zona 2 C	301
4.2.8.3.1	Situaciones puntuales zona 2 C	303
4.2.8.3.2	Descripción morfológica puntual zona 2 C	308
4.2.8.3.3	Gráficos de comportamiento microclimático puntual	311
4.2.8.3.4	Análisis de variables climáticas en casos puntuales zona 2 C	318
4.2.9	ESTUDIO DE CORRELACIONES ENTRE DESCRIPTORES MORFOLÓGICOS Y MICROCLIMA URBANO	322
4.2.9.1	Para temperatura del aire	322
4.2.9.2	Para humedad relativa del aire	324
4.2.9.3	Para velocidad del viento	326
4.2.9.4	Para radiación puntual	330
4.2.9.5	Para variación de la temperatura	331
4.2.9.6	Estudio de temperatura de radiación de los paramentos	333
4.2.9.7	Estudio de variación de la temperatura	338
4.2.10	CORRELACIONES ENTRE LOS DESCRIPTORES MORFOLÓGICOS ESTUDIADOS	341
4.2.11	ANTECEDENTES DE CONFORT CLIMÁTICO EN VALPARAÍSO: VALOR DEL ESPACIO SOCIAL Y HABITABILIDAD	344
4.2.12	ANTECEDENTE DE ESTUDIO: LA PLAZA COMO ESPACIO SOCIAL	347
4.2.12.1	Conclusión parcial	356
4.2.13	ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA	357
4.2.14	DISCUSIÓN	379
4.2.14.1	Discusión correlaciones	380
4.2.15	CONCLUSION ESTUDIO DOS	384
4.2.16	PALABRAS FINALES	386
4.3	ESTUDIO TRES: MODELO CLIMATICO	389
4.3.1	DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENCIAS ENTRE LAS CONDICIONES CARACTERÍSTICAS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO DE VALPARAÍSO Y DEL EIXAMPLE DE BARCELONA.	390
4.3.2	CONSIDERACIONES INICIALES	391
4.3.2.1	De estación meteorológica de referencia	391
4.3.2.2	De consolidación de tejido	391
4.3.2.3	De alcances de emplazamiento	393
4.3.2.3.1	Primer estudio comparativo	394

		Página
4.3.2.3.2	Segundo estudio comparativo	397
4.3.2.3.3	Tercer estudio comparativo	407
4.3.2.3.4	Cuarto estudio comparativo	410
4.3.3	DIFERENCIAS PARA RADIACIÓN SOLAR	413
4.3.4	CONSIDERACIONES DE VIENTO Y DE APORTES DE HUMEDAD DEL MAR EN TEJIDOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE VALPARAÍSO Y EN SITUACIÓN EIXAMPLE BARCELONA	415
4.3.5	CONSIDERACIÓN DE GEOMETRÍA Y EMPLAZAMIENTO	415
4.3.6	TEMPERATURA DE RADIACIÓN, SOMBRA Y VEGETACIÓN	417
	Factor de Vegetación Zona 1	419
	Factor de Vegetación Zona 2	420
4.3.7	COMPORTAMIENTO DE ACTIVIDAD Y USO DE LAS EDIFICACIONES	425
4.3.8	COMPORTAMIENTO DE TRANSITO	427
4.3.9	DESARROLLO MODELO DE CLIMA URBANO	429
4.3.9.1	Datos morfológicos y energéticos característicos zona 2 A en invierno, para modelo climático	430
4.3.9.2	Valores climáticos zonales respecto de la estación meteorológica USM de referencia.	431
4.3.9.3	Comportamiento climático zona 2 A respecto de estación USM	432
4.3.9.4	Relaciones entre las variables climáticas zonales	442
4.3.9.5	Datos morfológicos y de actividad característicos casos de estudio puntual en zona 2 A en invierno, para modelo climático	449
4.3.9.6	Modelamiento zonal	451
4.3.9.7	CONCLUSION ESTUDIO TRES. PALABRAS FINALES	457
CAPITULO 5	DISCUSION GENERAL	461
	Indice Capítulo 5	461
5.1	EVALUACIÓN DEL PAR MORFOLOGÍA-TOPOGRAFÍA URBANA COMO PARTICIPANTE EN LA DEFINICIÓN DEL CLIMA DE LA CIUDAD DE VALPARAÍSO	463
5.1.1	Texto y contexto climático	463
5.1.2	Contexto climático: topografía urbana	463
5.1.3	Sistema climático urbano	464
5.1.4	Tipología de estudio	465
5.1.5	Respecto del análisis realizado	466
5.2	ESTUDIOS	468
5.2.1	Emplazamiento	468
5.2.2	Descriptores morfológicos	469
5.2.3	Matriz de análisis puntual	471
5.2.4	Respecto de los descriptores morfológicos	472
5.2.5	Respecto de los materiales urbanos	475
5.2.6	Comportamiento peatonal y habitabilidad	475

		Página
5.2.7	Demanda energética interior	477
5.2.8	Variables climáticas influyentes	478
5.3	PROPUESTAS DE DISEÑO	478
5.3.1	De emplazamiento	478
5.3.2	De orientación de calle	479
5.3.3	De forma de sección	479
5.3.4	De materiales de cobertura y otros elementos de diseño urbano	482
5.3.5	Del modelo de análisis	483
5.4	CONCLUSION PARCIAL. PALABRAS FINALES	484
CAPITULO 6	CONCLUSIONES	486
	Indice Capítulo 6	486
6.1	CONCLUSIÓN GENERAL	488
6.2	CONCLUSIÓN FINAL	490
6.3	SUGERENCIAS DE DISEÑO	491
6.4	PERSPECTIVAS DE FUTURO	492
CAPITULO 7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	496
7.1	REFERENCIAS IMPRESAS	496
7.2	REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	528
	ANEXOS	542
Anexo 1	MODELO CLIMÁTICO DEL EIXAMPLE DE BARCELONA	544
Anexo 2	GRAFICOS DE CORRELACIONES EN LAS ZONAS DE ESTUDIO DE ACUERDO A MODELO EIXAMPLE	554
Anexo 3	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y REGISTRO	599
Anexo 4	ESTUDIO DE PLAZAS	602
Anexo 5	COMPORTAMIENTO CLIMATICO ZONA 1 RESPECTO DE ESTACION METEORLOGICA USM	621
Anexo 6	NORMATIVA DE EDIFICACION ACTUAL EN ZONA 1 Y ZONA 2	628
Anexo 7	MEDICIONES EN TERRENO ZONA 1 Y ZONA 2	631
Anexo 8	ESTIMACIONES DE VALORES DE VARIABLES CLIMATICAS CON MODELO CLIMATICO ADAPTADO A ZONA 2 A	646
Anexo 9	ACTIVIDADES VINCULADAS A ESTA INVESTIGACIÓN	657

PRESENTACION ESTRUCTURA DE LA TESIS

En la tesis planteada en este trabajo se abordan diversos temas de interés para la misma y que tienen origen distinto, por tanto se define una serie de capítulos que los tratarán en detalle.

Capítulo Uno

PRESENTACION INVESTIGACION

INTRODUCCIÓN GENERAL Y ESTRUCTURA DE INVESTIGACION

Este capítulo pretende dar a conocer los intereses de la investigación a partir de los Motivos y Alcances de la misma, realizando un Planteamiento y Justificación del problema disciplinar. Se hace una introducción respecto de los temas generales del marco de la investigación, que apuntan al conocimiento del microclima urbano.

En este capítulo se definen los Objetivos Generales y Particulares y las Hipótesis sobre las que se lleva la investigación.

Se define también la Metodología a utilizar, que considera tanto el análisis de los procesos y directrices de diseño de tejidos urbanos en la historia y sus consideraciones de modelamiento del clima urbano, como el análisis de modelos actuales de evaluación y diseño. Y también la determinación de herramientas de análisis y el estudio de casos.

Capítulo Dos

ESTADO DEL ARTE

ANTECEDENTES TEORICOS GENERALES

- Recopilación de antecedentes históricos de diseño urbano respecto de las consideraciones de su clima y confort climático.

En él se desarrolla un estudio de carácter histórico y bibliográfico respecto de las definiciones de clima y las maneras en que se ha enfrentado el diseño climático de los espacios públicos en tejidos urbanos vernáculos y principalmente planificados, enfatizando en la valoración dada a los elementos morfológicos y topográficos de los mismos. Considera también la puesta en valor del espacio público en ciudades de clima tipo mediterráneo.

ANTECEDENTES TEORICOS PARTICULARES

- Revisión de modelos actuales de evaluación del clima urbano, con énfasis en la morfología y materiales de los tejidos de la ciudad.

Se realizará una aproximación al concepto de clima urbano y a las investigaciones actuales sobre la relación de la forma edificada con los estados del clima en la ciudad. Se revisará el concepto de escala climática, y los diversos factores y elementos que definen el clima urbano local y puntual.

Se enfatizará en los antecedentes que consideran las formas espaciales locales de Topografía y Morfología urbana y en Factores Antrópicos (Sistema de transporte y sistema de funciones de la ciudad).

Se hará una revisión de modelos cualitativos y modelos cuantitativos de clima urbano, poniendo énfasis en aquellos que presenten un lenguaje de entendimiento arquitectónico.

En esta investigación lo que interesa es el comportamiento climático exterior y la atención se pone en su relación con las características de topografía y morfología espacial del caso de estudio: Valparaíso. Sin embargo, el consumo energético en las edificaciones y el confort climático son considerados significativamente en este trabajo.

Capítulo Tres

DESCRIPCION CASO DE ESTUDIO: VALPARAISO CIUDAD

Se realizará una breve descripción de la ciudad de Valparaíso y de la historia de su crecimiento. Se describirá su comportamiento climático general. Se detallará su medio

geográfico de emplazamiento, sus características topográficas y de trazado urbano, de sus espacios públicos y de sus edificaciones.

Capítulo Cuatro

ESTUDIO DE CASOS. INVESTIGACION DE CAMPO

En este capítulo se desarrolla la investigación de campo. Como primer Estudio (Estudio Uno), se analiza el comportamiento climático de la ciudad en general. Como Segundo Estudio (Estudio Dos), se analizan casos a partir de tipologías determinadas por la relación morfología urbana y topografía de la ciudad. Se realiza un análisis cuantitativo del microclima de los casos de estudio poniendo en valor las condiciones morfológicas, de materiales y de emplazamiento. Se hace una evaluación cualitativa del comportamiento climático y de calidad climática (confort) de los casos de estudio. Como Tercer Estudio (Estudio Tres), se determinan variables morfológicas y se desarrolla/adapta un modelo matemático de clima a partir de los casos de estudio de la ciudad de Valparaíso.

Capítulo Cinco

DISCUSION

En este capítulo de discusión, se buscarán relaciones entre la topografía, la estructura urbana y el clima de Valparaíso. Se buscará determinar las relaciones entre Formas de calles, sus materiales y los microclimas urbanos de las mismas, a partir de los casos estudiados. También se discutirán los resultados de Confort climático urbano.

En este capítulo se buscará relaciones sistemáticas entre los distintos elementos de la morfología y entre estos y la topografía. Finalmente se intentará realizar una Propuestas de Guía de intervenciones urbanas como aporte a una definición microclimática más confortable de los espacios exteriores de la ciudad de Valparaíso desde el punto de vista morfológico.

Capítulo Seis

CONCLUSIONES

Se pretende en este capítulo realizar conclusiones y comentarios finales intentando generar nuevas preguntas e ideas respecto del ámbito de estudio y de abrir nuevas proyecciones de investigación en torno del problema disciplinar planteado.

Capítulo Siete

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Se expondrá la bibliografía general utilizada durante toda la investigación, considerando que en cada capítulo existirá una bibliografía particular para cada uno de los temas tratados en ellos.

ANEXOS

En la parte destinada a los anexos, se adjuntará la información complementaria a los capítulos que así lo ameritan así como las actividades vinculadas a esta investigación.

CAPITULO 1

INTRODUCCION GENERAL

INDICE CAPITULO 1

	Página	
1.1	INTRODUCCIÓN: EXPOSICIÓN DE MOTIVOS Y ALCANCES	27
1.2	PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DISCIPLINAR	28
1.3	HIPÓTESIS	29
1.4	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	29
1.5	JUSTIFICACIÓN CASO DE ESTUDIO GENERAL: VALPARAÍSO	30
1.6	ESTRUCTURA DEL TRABAJO INVESTIGATIVO	31

1.1 INTRODUCCIÓN: EXPOSICION DE MOTIVOS Y ALCANCES

Desde siempre, el hombre ha querido evitar las "limitaciones y agresiones" provenientes de la naturaleza, intentando con su conocimiento aplicado controlarla y modificarla local y puntualmente para crear condiciones ambientales más próximas a sus márgenes de adaptabilidad climática.

Inicialmente el control ambiental fue mínimo, con pequeños elementos y abrigos y utilizando energías y materiales que encontraba ya directamente útiles para el efecto. De este modo comenzó a conformar arquitecturas incipientes y lugares aptos para su desarrollo, individual y comunitario.

El mayor conocimiento ambiental y constructivo permitió la elaboración de tecnologías para modificar la naturaleza próxima y conformar climas más confortables (diferentes a los que existían en la geografía antes de intervenir en ellas). Con el tiempo, las formas de intervención se han ido refinando y complejizando. Así, en este proceso, pasamos de un aprovechamiento conciente de los beneficios de las energías naturales de un lugar (utilizando ciertos sistemas de control natural), a la utilización de fuerzas mecánicas y de energías fósiles o nucleares para complementarlas. Esto, debido a que en un entorno cambiante, lo que se tiende a buscar es mantener el espacio interior de los edificios con un confort estable.

Esta búsqueda intensa del confort en el interior de los edificios ha llevado a una despreocupación y subvaloración de la calidad del espacio urbano exterior y de sus lugares de emplazamiento, sin reconocer los valores climáticos de sus características topográficas o geográficas.

Hoy en día, como resultado de la sectorización de las funciones de la ciudad, se produce la consolidación de tipologías de tejidos, repetitivos o no, que sin incorporar los conocimientos en bioclimática y eficiencia energética, no consideran el comportamiento de las energías naturales del lugar ni menos el resultado climático en sus espacios públicos.

Desde esta perspectiva y tomando en cuenta consideraciones de ámbito social, la evolución reciente de la ciudad, ha sido calificada como un ejemplo manifiesto de la insostenibilidad del desarrollo humano actual. Este proceso ha provocado el estado actual de deterioro del clima en la ciudad, que ha tenido, a su vez, consecuencias con su habitabilidad tanto fuera como dentro de las edificaciones.

Un modelo alternativo, que surge como reacción a este estado de crisis de la ciudad es la visión ecosistémica del acontecimiento urbano, que ha propiciado la difusión de nuevas estrategias de diseño más acordes con el medioambiente de nuestras ciudades reconociendo las energías naturales de sus lugares de emplazamiento.

La motivación de esta investigación es reflexionar y definir conceptos sobre como los tejidos urbanos podrían mejorar, desde el punto de vista climático, los niveles de calidad climática en aquellos lugares que acogen la vida comunitaria de sus habitantes y eficiencia energética de nuestras ciudades, incorporando estrategias de diseño bioclimático al espacio urbano como un aporte a una mayor sostenibilidad de la ciudad.

1.2 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DISCIPLINAR

Esta investigación se centrará específicamente en el estudio de la forma urbana como modeladora del microclima y de las energías naturales del lugar del emplazamiento, pretendiendo ser un aporte a las estrategias de gestión de tejidos urbanos confortables bioclimáticos y de mayor eficiencia energética.

La importancia y la justificación de esta investigación está en el aporte que se puede hacer a la habitabilidad más confortable del espacio exterior y a la valoración social del espacio urbano construido y al ahorro energético de la ciudad, en el mantenimiento y uso de los edificios.

En su larga evolución, la ciudad ha ido creciendo en extensión, densidad y complejidad, creándose variados tejidos en esta ocupación de nuevos territorios, y generando al mismo tiempo, zonas abandonadas, subvaloradas y periféricas. Estas variaciones formales han originado diferencias climáticas dentro de una misma ciudad. Y este hecho ha afectado significativamente la habitabilidad del espacio exterior.

Los parámetros climáticos existentes en el exterior inmediato, influyen también en la posibilidad de un confort ambiental con energías naturales en el interior de los edificios. A su vez, el edificio también participa de la definición formal de ese exterior, alterando su paisaje y microclima inmediatos.

El modelo de ciudad actual, manifestado en sus tejidos urbanos, presenta dificultades crecientes para la vida comunitaria. En él, los índices actuales de polución, niveles de ruido, temperatura y humedad, etc., han creado una situación inconfortable en muchos casos. Esta incidencia de la ciudad sobre su propio clima afecta su sostenibilidad medioambiental, social y económica. El disconfort, la insatisfacción climática que encontramos en el espacio urbano, es una de las causales de la extensión de la ciudad suburbana sobre el territorio.

Desde nuestra disciplina, las propuestas actuales para evolucionar positivamente el comportamiento ambiental de nuestras ciudades, contemplan actuaciones urbanas en diferentes ámbitos y a diferentes escalas, considerando diferentes factores urbanos y arquitectónicos, siendo uno de ellos la gestión y modelación del microclima urbano dentro de los márgenes de confort de sus habitantes.

Nuestras ciudades continúan creciendo, por tanto es importante poder identificar y determinar los tejidos que tienen un comportamiento climático más confortable para su medio aprovechando las energías naturales. En este sentido, los conocimientos de las relaciones entre lugar de emplazamiento, topografía y morfología urbana son un aporte muy significativo en el diseño de espacios urbanos climáticamente confortables y ciudades más eficientes en consumos de energía.

1.3 HIPOTESIS

Desde este punto de vista, esta investigación parte de las hipótesis siguientes:

1

Existen distintos tipos de clima urbano en una misma ciudad definidos por los distintos elementos urbanos de geometría y materiales que la conforman espacialmente.

1.1

El emplazamiento de un tejido urbano determina el tipo de clima urbano existente en una zona de la ciudad.

1.2

La morfología de los elementos edificados determina el tipo de clima urbano existente en una zona de la ciudad.

1.3

La morfología urbana y la topografía actúan climáticamente de manera conjunta.

2

Podremos aportar unas sugerencias de diseño en la conformación microclimática de tejidos urbanos, que mejoren los niveles de eficiencia energética en edificaciones y calidad climática de los espacios públicos de las ciudades de clima mediterráneo costero en general y de Valparaíso en particular.

1.4 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

En particular se pretende en este trabajo analizar la relación entre morfología urbana y microclima urbano, con la finalidad de proponer sugerencias de diseño para la ciudad, para la gestión de una mayor eficiencia energética de sus edificaciones y confort climático de sus espacios urbanos.

Esto se hará considerando un lenguaje arquitectónico, para poder establecer un modelo de evaluación cualitativa y cuantitativa que aporten a las decisiones de emplazamiento y diseño de espacio de nuevos trozos y desarrollo urbano de la ciudad. Determinando herramientas de diseño que arquitectónicamente permitan informar y evaluar la relación entre estos elementos espaciales.

Los objetivos particulares de este trabajo son:

1

Contribuir al mejor entendimiento de cómo las formas y materiales del espacio urbano participan en la determinación de los microclimas existentes en tejidos urbanos de clima mediterráneo costero.

2

Identificar elementos de la morfología urbana y la topografía, incidentes, como factores, en el clima urbano de ciudad.

3

Evaluar el comportamiento climático de diferentes tejidos urbanos de clima mediterráneo costero, en particular de la ciudad de Valparaíso.

3.1

Evaluar cuantitativamente el comportamiento climático de diferentes formas de tejidos urbanos de Valparaíso.

3.2

Evaluar cualitativamente el comportamiento climático de diferentes formas de tejidos urbanos de Valparaíso.

4

Proponer sugerencias de diseño para la complementariedad climática entre morfología urbana y forma topográfica, para tejidos de la ciudad de clima mediterráneo y en particular de Valparaíso, que apunten a una mayor calidad climática y eficiencia energética de los tejidos urbanos de la ciudad.

1.5 JUSTIFICACION CASO DE ESTUDIO GENERAL: VALPARAISO

Como lugar de estudio se ha considerado la ciudad de Valparaíso, que, como ciudad en crecimiento, desarrolla nuevos tejidos tanto en su expansión urbana horizontal sobre el territorio, como en vertical, densificando su tejido actual.

En estos momentos la ciudad de Valparaíso vive procesos de revitalización llevados por el Estado Chileno. Entre ellos se destaca el vinculado a la declaratoria de la ciudad como sitio patrimonio mundial por parte de la UNESCO el año 2003. Además, debido a la próxima celebración del Bicentenario de la Independencia de la Nación (2010), el Gobierno de Chile ha fijado "como un objetivo prioritario el mejorar la calidad de vida en las grandes ciudades del país, a través de mejoras en la infraestructura urbana y en los espacios públicos y de la puesta en valor de su patrimonio urbanístico y arquitectónico"¹. En este plan se inserta la revitalización del casco histórico de la ciudad y parte de él se considerar en este estudio.

Diversos estudios han definido que existe una cultura espacial propia de la ciudad de Valparaíso (Schweitzer, 1982; Carrasco, 1991; Hurtado, 1991; Maggi, 1993; Álvarez, 2001; Urzúa, 2005; Ramírez, 2007; Guerrero; 2008; Fierro, 2008). Esto se manifiesta tanto en la conformación de sus edificaciones como en sus espacios públicos. La ciudad se mira a sí misma por su conformación topográfica general. Reconoce en sus bordes y paseos miradores, en sus escaleras urbanas, los conjuntos habitacionales planificados incorporados al tejido urbano vernáculo, quillas volumétricas, patios interiores de edificaciones, patios y plazas urbanas, galerías en edificaciones, etc., que han dado valor a la forma topográfica que sigue el emplazamiento de la ciudad. Como consecuencia, la ciudad en sus formas topográficas particulares, reconoce variados comportamientos de formas espaciales edificadas.

Se pretende estudiar la relación entre la conformación espacial de la calle, la morfología urbana y la topografía, como un tema de interés, debido a las características particulares del caso general de estudio Valparaíso, considerando sus repercusiones en el comportamiento microclimático y de confort térmico en espacios urbanos.

En la arquitectura y ciudades vernáculas, la forma espacial topográfica ha sido un elemento muy significativo en la determinación de diseños microclimáticos. También hemos visto en la historia, que las decisiones fundacionales de la forma de una ciudad han recogido elementos de la forma del suelo y de la topografía circundante. Actualmente los modelos urbanos de crecimiento o densificación de ciudad, no consideran este elemento en relación a la morfología urbana con el valor que tiene en la determinación del clima local, en la conformación de microclimas, en el comportamiento energético del espacio público y las edificaciones, así como tampoco en el diseño de un clima confortable para los peatones de la ciudad. Se procura que esta investigación sea un real aporte al conocimiento de estos temas y al diseño de los mismos.

Esta investigación pretende entregar como resultado un método de análisis climático para la ciudad de Valparaíso y posible de adaptar a otros lugares, entendiendo que es un aporte a la manera de intervenir en la ciudad tanto en tejidos nuevos como en la reconversión de tejidos existentes.

¹ GOBIERNO DE CHILE, I. MUNICIPALIDAD DE VALPARAÍSO. "Postulación de Valparaíso como Sitio del Patrimonio Mundial / UNESCO". Santiago, Diciembre 2001.

1.6 ESTRUCTURA DEL TRABAJO INVESTIGATIVO

Esta investigación analiza el espacio urbano desde el punto de vista de su comportamiento climático, sus formas espaciales y sus materiales, así como la incidencia de la condición topográfica de emplazamiento, como factores significativos de su determinación, considerando los siguientes aspectos y las siguientes etapas principales:

1 INVESTIGACIÓN TEÓRICA O ESTADO DEL ARTE

Se realizará un estudio del clima urbano para conocer los elementos que participan en su definición y comprender las relaciones entre ellos:

- Recopilación de antecedentes históricos de diseño urbano respecto de las consideraciones de su clima y confort climático.
- Revisión de modelos actuales de evaluación del clima urbano, con énfasis en la morfología y materiales de los tejidos de la ciudad.

2 INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE CASOS

Se pretende entender específicamente para la ciudad de Valparaíso, a modo de ejemplo, la relación entre morfología urbana, materiales y la variada topografía que en ella existe:

- Determinación de herramientas e instrumentos apropiados para el análisis del microclima urbano.
- Se hará una descripción y análisis de clima urbano de Valparaíso.
- Se hará una descripción y análisis del microclima de casos puntuales de estudio.
- Se definirá un modelo matemático de microclima urbano: Se hará una propuesta/adaptación de modelo de clima urbano para los tejidos de estudio de la ciudad de Valparaíso.
- Discusiones parciales de resultados.

3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se hará una síntesis y discusión final de la investigación que facilite sugerencias de diseño a modo de guía de intervenciones urbanas para la definición confortable de sus espacios públicos y la eficiencia energética de los tejidos.

4 CONCLUSIONES

5 PERSPECTIVAS DE FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO 2 ESTADO DEL ARTE

INDICE CAPITULO 2

	Página
2.1 ANTECEDENTES TEORICOS GENERALES	35
2.1.1 CLIMA, GEOMETRÍA Y TRAZADO URBANO	36
2.1.1.1 Forma de trazado y clima	36
2.1.1.2 Clima templado - mediterráneo	39
2.1.2 TRATADOS FUNDACIONALES Y MODELAMIENTO DEL CLIMA EN LA CIUDAD PLANIFICADA	44
2.1.2.1 Elección del sitio	51
2.1.2.2 Forma del trazado	53
2.1.2.3 Dirección y proporción de calles	55
2.1.2.4 Caracterización de plazas	57
2.1.2.5 Salud y clima	58
2.1.3 CONCLUSION PARCIAL. PALABRAS FINALES	59
2.2 ANTECEDENTES TEORICOS PARTICULARES	65
2.2.1 CLIMA URBANO	66
2.2.1.1 Clima urbano y escalas climáticas	66
2.2.1.2 Palabras finales	76
2.2.2 FORMA EDIFICADA Y TEMPERATURA DEL AIRE	77
2.2.2.1 Temperatura del aire en la sección de la calle	81
2.2.2.2 Materiales urbanos y temperatura del aire	81
2.2.2.3 Palabras finales	82
2.2.3 FORMA EDIFICADA Y HUMEDAD DEL AIRE	84
2.2.3.1 Palabras finales	87
2.2.4 FORMA EDIFICADA Y COMPORTAMIENTO DEL VIENTO EN EL ESPACIO URBANO	88
2.2.4.1 Forma del tejido edificado y comportamiento del viento urbano	89
2.2.4.2 Densidad de edificación	100
2.2.4.3 Palabras finales	104
2.2.5 FORMA EDIFICADA Y RADIACIÓN EN EL ESPACIO URBANO	105
2.2.5.1 Forma del tejido edificado y radiación en microclima urbano	106
2.2.5.2 Geometría y orientación	108
2.2.5.3 Albedo urbano	112
2.2.5.4 Palabras finales	117
2.2.6 FORMA EDIFICADA Y CONSUMOS DE ENERGÍA EN EL ESPACIO URBANO	118
2.2.6.1 Energía originada en las edificaciones	118

2.2.6.2	Forma del tejido y energía de movilidad	120
2.2.7	CONCLUSION PARCIAL. PALABRAS FINALES	122
2.2.8	MODELOS CLIMÁTICOS MORFOLÓGICOS	125
2.2.8.1	Modelos cualitativos del clima urbano	127
2.2.9	FACTORES DE EMPLAZAMIENTO Y SU RELACIÓN CON EL CLIMA URBANO	132
2.2.9.1	Emplazamiento y clima urbano	132
2.2.9.2	Sobre la topografía	132
2.2.9.3	Sobre los cuerpos de agua	139
2.2.10	CONCLUSION PARCIAL. PALABRAS FINALES	142

2.1 ANTECEDENTES TEORICOS GENERALES

2.1.1 CLIMA, GEOMETRIA Y TRAZADO URBANO

2.1.1.1 FORMA DEL TRAZADO Y CLIMA

La arquitectura vernácula y los pueblos en su nacimiento responden claramente al comportamiento climático local (Serra y Coch, 1995). Algunas tipologías de formas de agrupamiento de los volúmenes ilustran esta correspondencia.

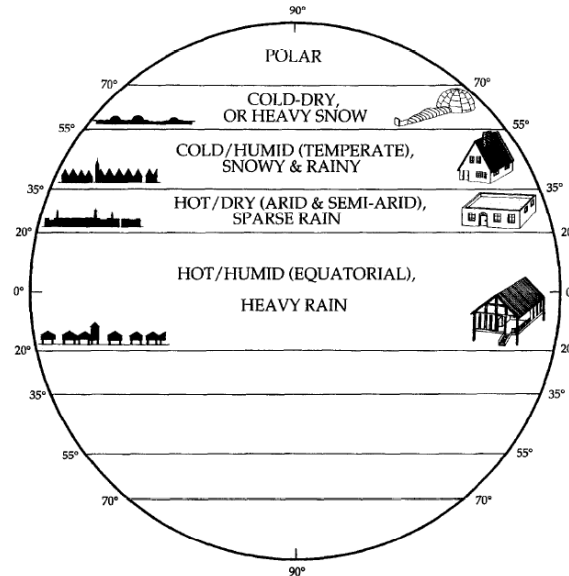


Fig. 2.1 Esquemas generales de viviendas y tejidos urbanos para diferentes latitudes. Fuente: Golany, S. 1996.

Respecto de la forma del trazado se valora el tipo de forma urbana, densidad, la exposición al viento y la radiación locales, la altura relativa respecto del entorno y el tipo de trama (Serra y Coch, op. cit. 1995) actuando sobre el clima. De esta manera para los diversos climas se recomiendan ciertas características morfológicas para hacer más confortables sus espacios urbanos:

TIPO CLIMATICO	CARACTERISTICAS	PROBLEMATICAS CLIMATICAS	RESPUESTAS DE DISEÑO URBANO	PROPUESTAS DE FORMA URBANA ADECUADA
CALIDO HUMEDO	Calor diurno Baja variación de temperatura Fuertes lluvias Mayor confortabilidad en altura	Calor excesivo Alta humedad	Ventilación (formas abiertas) Calles anchas que den cabida al movimiento del aire Generación de sombras Dispersión de las edificaciones Combinación de variadas alturas y anchos en edificaciones	Dispersa y espacios abiertos para ventilación
FRIO HUMEDO	Nieves Brisas de viento Noches muy frías	Baja temperatura Altas precipitaciones en invierno y verano Clima ventoso	Forma edificada de altura uniforme Dispersión media de espacios abiertos combinados con formas cerradas Necesidad de Calefacción Protección de los vientos de invierno	Formas cerradas controladas climáticamente y una mixtura de espacios abiertos

TIPO CLIMATICO	CARACTERISTICAS	PROBLEMATICAS CLIMATICAS	RESPUESTAS DE DISEÑO URBANO	PROPUESTAS DE FORMA URBANA ADECUADA
CALIDO SECO	Alta radiación solar Altas oscilaciones de temperatura día noche Lluvias torrenciales Pocos días nublados Alta evaporación, mayor que las precipitaciones Tormentas de polvo	Alta sequedad y alta temperatura diaria Tormentas de polvo	Formas compactas Sombras Refrigeración evaporativa Protección de los vientos calidos Localización próxima a cuerpos de agua Calles angostas Espacios públicos pequeños, protegidos y dispersos	Formas urbanas compactas
FRIO SECO	Altamente inconfortable Fuertes vientos fríos y secos	Temperaturas excesivamente bajas asociadas a vientos secos y fuertes	Formas compactas y agregadas tipo racimo Bordes urbanos protegidos Calles angostas Conjuntos edificados altos pequeños y dispersos espacios públicos	Formas compactas y agregadas tipo racimo
COSTAS DESERTICAS	Tormentas y vientos Alta humedad Erosión Brisas	Alta humedad Vientos	En Regiones Húmedas moderada dispersión urbana Bordes urbanos abiertos Calles altas perpendiculares a la costa para recibir brisa Alturas variadas en edificaciones dispersas para una mayor ventilación Espacios públicos amplios En Regiones secas espacios abiertos hacia el mar Espacios interiores protegidos Mixtura de edificios altos y bajos Espacios públicos protegidos, pequeños y dispersos	En Regiones húmedas: Forma dispersa pero moderada En Regiones secas: Compacta y protegida
PENDIENTE DE MONTAÑAS	Viento e incremento de la circulación del aire Humedad relativa alta respecto de tierras bajas Clima moderado y saludable Alto atractivo visual	Viento	Formas semicompactas: mixtura de formas compactas y dispersas Baja altura edificada Pequeños espacios abiertos dispersos	Formas semicompactas Mixtura de formas compactas y dispersas

Tabla 2.1 Ejemplos de características morfológicas urbanas generales para diversos climas. Fuente: Golany, S. op. cit. 1996.

Se muestran a continuación tres ejemplos de formas de agrupamiento y disposición de los espacios exteriores; respuestas regionales de tejidos urbanos en diferentes climas, que buscan satisfacer necesidades biológicas del ser humano a partir del conocimiento del clima local y en su lugar de emplazamiento. Se sigue la nomenclatura climática de Koeppen y climograma de la localidad:

1

Ejemplo de Clasificación climática Af – Am, Clima tipo Ecuatorial Húmedo:

La disposición de Casas de Batak, al norte de Sumatra (1° N 100°02' E), evidencia la necesidad de ventilación del espacio exterior debido al calor excesivo y a la alta humedad.

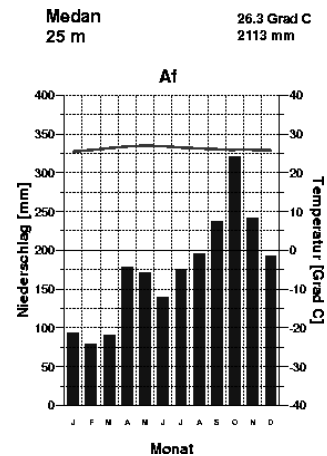


Fig. 2.2 Izquierda, agrupación de viviendas en Batak.

Fig. 2.3 Derecha, Climograma de la ciudad de Medan, de similar características climáticas. Fuente: <http://www.klimadiagramme.de>.

2

Ejemplo de Clasificación climática BWh. Clima tipo Arido – Desierto – Caluroso:

La forma del Tejido urbano en Gardahia (32°49'N, 3° 40'E), evidencia la necesidad de protección de radiación, la generación de sombra y la disminución de la oscilación térmica.

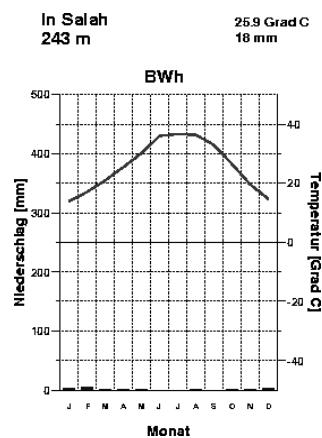


Fig. 2.4 Izquierda, vista aérea de tejido urbano en Gardahia.

Fig. 2.5 Derecha, Climograma de la ciudad de In Salah, de similar características climáticas. Fuente: <http://www.klimadiagramme.de>.

3

Ejemplo de Clasificación climática BS. Clima tipo Estepa:

Pueblo Dogon en Senoussa (Mali 13°57'N 4°34'W), que dispone de patios interiores y vegetación para dar respuesta a un clima calido y seco. Se distingue que se emplaza próximo a un cuerpo de agua y presenta espacios exteriores dispersos.



Fig. 2.6 Izquierda y Fig. 2.7 centro, vista aérea de tejido edificado en Senoussa, Mali. Fuente: Google Earth.

Fig. 2.8 Derecha, Climograma de la ciudad de Ouagadougou, de similares características climáticas. Fuente: <http://www.klimadiagramme.de>.



Fig. 2.9 Izquierda y Fig. 2.10 Derecha, vista de tejido y espacios entre edificaciones en Senoussa. Fuente: <http://www.dogon-lobi.ch>.

Revisaremos esta relación en clima mediterráneo, evaluando las respuestas vernáculas y las respuestas actuales.

2.1.1.2 CLIMA TEMPLADO – MEDITERRANEO

Se pone especial atención en las características urbanas de los agrupamientos ubicados en climas de tipo Csa y Csb (de acuerdo clasificación de Koppen) correspondientes al clima Mediterráneo, similar a la clasificación del lugar de estudio Valparaíso.

Esta zona climática corresponde a una condición particular de clima de la zona templada, que se localiza entre los 30° y 45° de latitud, en zonas ubicadas al oeste de los continentes y de borde de agua (mar u océano).

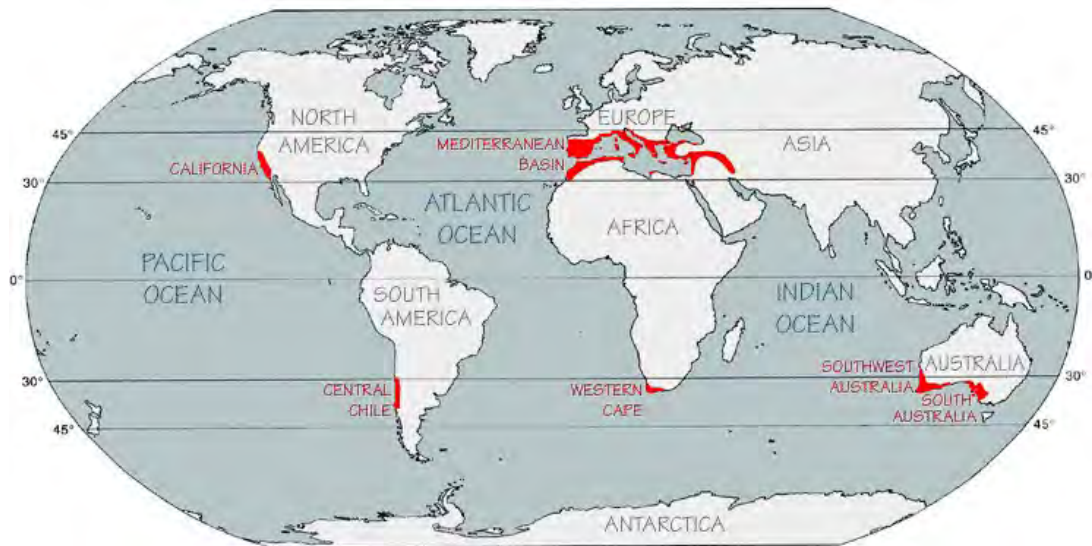


Fig. 2.11 Localización del Clima Mediterráneo, zonas oscuras en el mapa.
Fuente: <http://landscape.ced.berkeley.edu/~kondolf/courses/LA229/imageE7P.jpg>

A nivel global, la característica de inviernos húmedos y veranos secos se origina en las variaciones del frente que viene de los polos y las altas presiones provenientes de la zona subtropical. Las masas de aire varían desde tropical marítimo a polar marítimo, originando estas las precipitaciones. En el verano, debido al anticiclón subtropical, se tiende a una mayor sequedad. En términos generales, la amplitud térmica está alrededor de 15° C, lo que favorece una vegetación de bosque tipo mediterráneo, con características esclerófilas, así como pinos y plantas aromáticas.

A continuación se muestran algunos climogramas de ciudades emplazadas en climas mediterráneos:

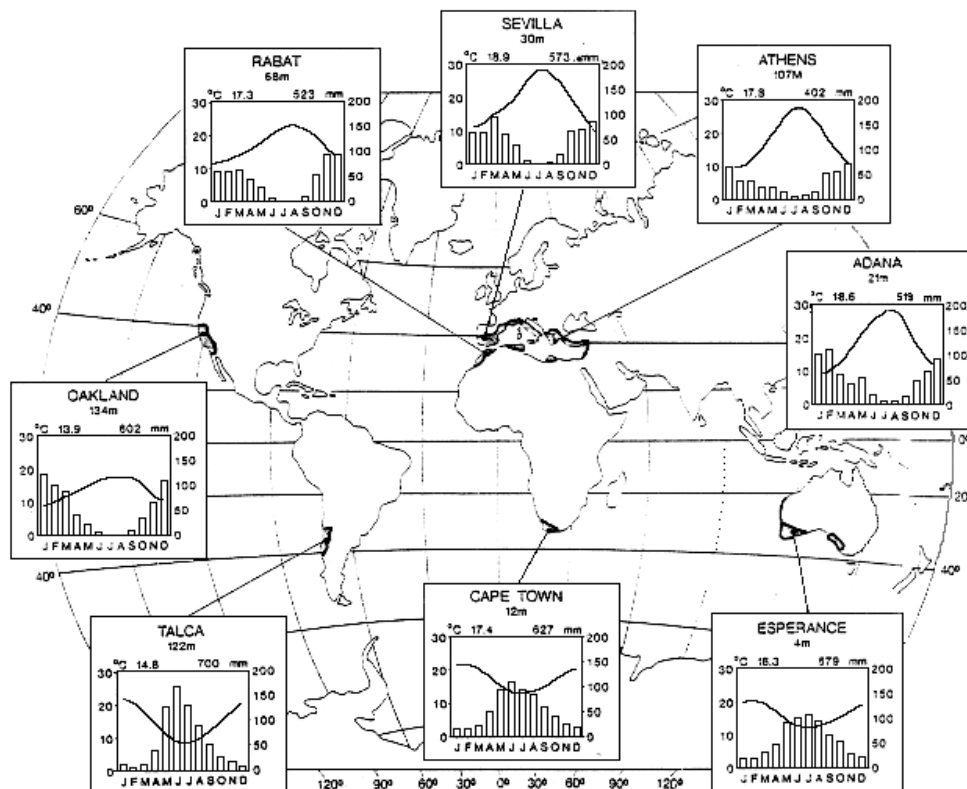


Fig. 2.12 Ejemplos de ciudades ubicadas en zonas de Clima Mediterráneo.
Fuente: <http://geologia.cicese.mx/ahinojosa/Bioclima/H1/medit.htm>

Se muestran a continuación, para algunas ciudades de la gráfica anterior (Fig. 2.12), ejemplos de trazado de tejidos urbanos como respuesta al clima mediterráneo:



Fig. 2.13 Izquierda, imagen de tejido urbano en Talca, Chile. Fuente: Google Earth.



Fig. 2.14 Derecha, imagen de tejidos urbanos de Rabat, Marruecos. Fuente: Google Earth.



Fig. 2.15 Izquierda, imagen de tejidos urbanos de Sevilla, España. Fuente: Google Earth.



Fig. 2.16 Derecha, imagen de tejido urbano en Esperance, Australia. Fuente: Google Earth.

Si bien existen ciertas invariantes formales en este tipo de climas, no es menos cierta la variedad formal de las distintas culturas para responder al clima particular. Esto se aprecia tanto en la conformación de los espacios urbanos como en las formas arquitectónicas.

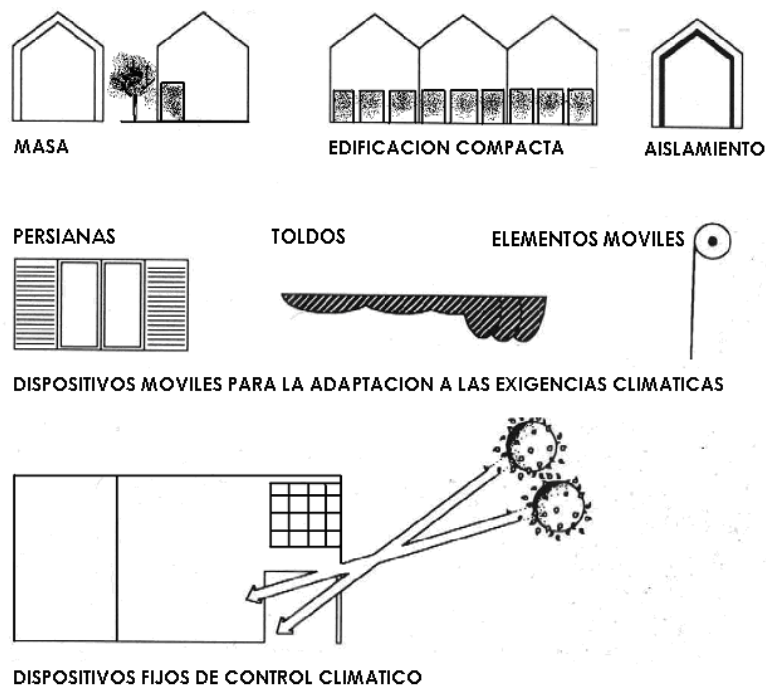


Fig. 2.17 Invariantes arquitectónicas para clima templado. Fuente: Neila 1997.

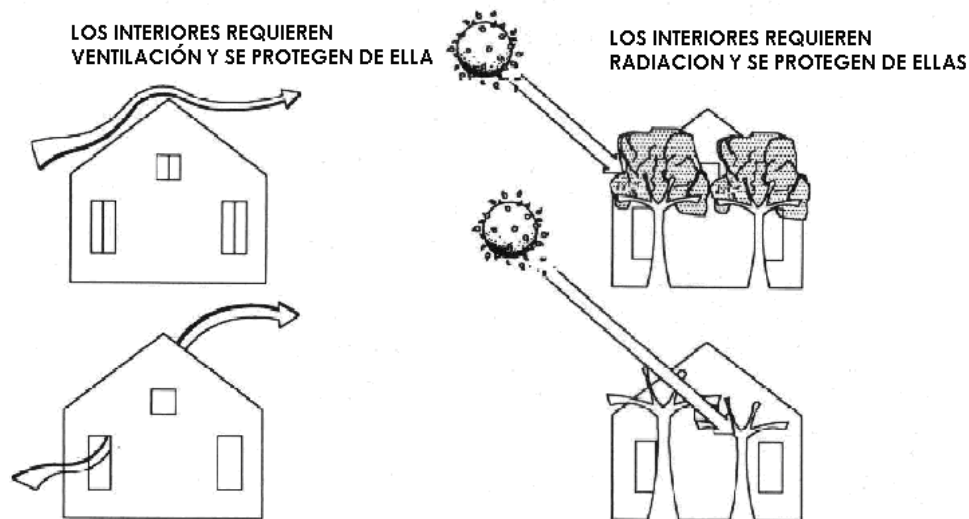


Fig. 2.18 Invariantes arquitectónicas para clima templado. Fuente: Neila op. cit., 1997.

El clima mediterráneo se acerca al clima ideal para el hombre moderno, aunque éste debe protegerse tanto de excesos de radiación solar del verano mediante construcciones que proporcionen sombra, como de algunos eventos de vientos desfavorables en invierno.

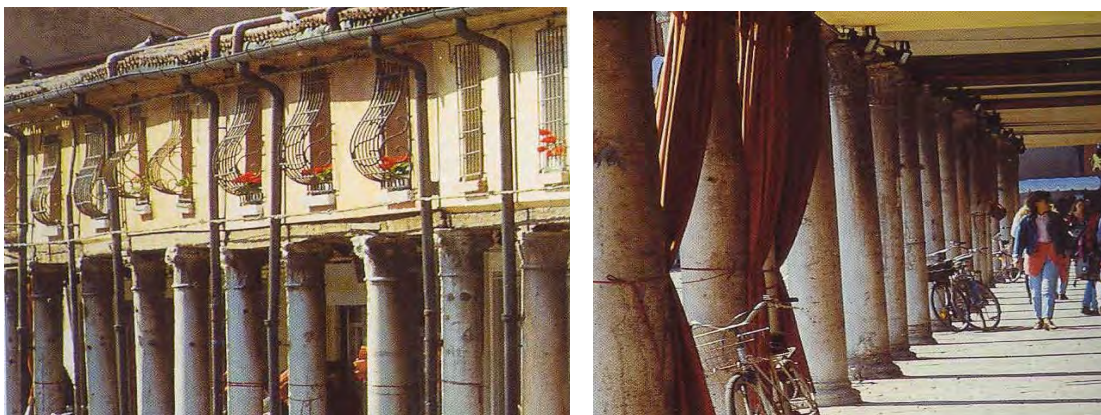


Fig. 2.19 Portales de edificios en Ferrara, Italia. Fuente: Behling, 2002.

Fig. 2.20 Detalle del espacio seminterior y habitabilidad protegida. Fuente: Behling op. cit., 2002.

En esta región todas las soluciones relacionadas con la construcción de la sombra tienen una larga tradición; la utilización de persianas, balcones, portales, etc. proporcionan un microclima más confortable. Se pasa de un mundo exterior claro y caluroso a un interior oscuro y fresco mediante galerías en sombra.

En este sentido se entiende la presencia de elementos urbanos que dan vida al espacio social, siendo una de las más características particularidades de estos climas: **El valor social del espacio público.**

Elementos como Miradores, Ramblas o paseos, balcones, corredores o p \acute{o} rticos, plazas y paseos arbolados, etc. se muestran a continuaci \acute{o} n como parte del repertorio urbano encontrado.



Fig. 2.21 Plaza Victoria, Valparaíso. Fuente Karen Fierro.



Fig. 2.22 Paseo Mirador público 21 de Mayo, en Valparaíso. Fuente www.valparaisochile.cl



Fig. 2.23 Plaza Real, Barcelona. Fuente Héctor Saavedra G-R.



Fig. 2.24 Izquierda. Elemento urbanos de uso social en una plaza pública en Valparaíso. Fuente: Karen Fierro.



Fig. 2.25 Derecha. Elemento urbanos de uso social en una plaza pública en Málaga. Fuente: www.mundomalaga.com.

Vemos que el emplazamiento y forma geométrica edificada están íntimamente ligados, al intentar comprender el suceso climático en el espacio público urbano. Estos factores participarían en la definición energética de un tejido y la calidad climática de sus espacios conformados favoreciendo o no una mayor calidad social. Esto, como una manera de entender la habitabilidad en el suceso urbano.

2.1.2 TRATADOS FUNDACIONALES Y MODELAMIENTO DEL CLIMA EN LA CIUDAD PLANIFICADA

Consideraciones climáticas para el espacio público en la historia de la ciudad modelada.

"La ciudad es agrupación; las agrupaciones se organizan con miras al bien; porque el hombre obra siempre con el fin de lograr lo que cree bueno. Si toda agrupación tiende al bien, la ciudad o sociedad política, que es la superior entre ellas y las comprende todas, tiende al bien en mayor grado que las demás, y al mejor bien" (La Política, Libro Primero, Capítulo I. Aristóteles).

"La belleza resultará de la forma bella y de la correspondencia del todo con las partes, de las partes entre sí y de estas con el todo, de manera que los edificios parezcan un solo cuerpo entero y bien acabado, en el cual un miembro convenga al otro y todos ellos sean necesarios para lo que se quiera realizar" (Los Cuatro Libros de Arquitectura, Libro I, cap. 1, A. Palladio).

"En la distribución de las calles dentro de la ciudad, se tendrá que prestar atención al clima y a la región del cielo en la que estén situadas las urbes" (Los Cuatro Libros de Arquitectura, Libro III, cap. 2, A. Palladio).

"Nuestros antepasados tuvieron la sabia, cuanto útil costumbre, de transmitir el fruto de sus ideas por medio de sus escritos con el fin no sólo de que no se perdiesen, sino que, añadiéndose siempre algo a los conocimientos de los siglos al conservarse en libros anteriores, fuesen gradualmente avanzando con el tiempo artes y ciencias hasta llegar a la suprema perfección". (Los Diez Libros de Arquitectura. Libro VII, Introducción. Marco Lucio Vitruvio,).

"Los antiguos más destacados, que pusieron por escrito las enseñanzas recibidas de otros y lo por ellos elucubrado al respecto, afirman que una ciudad debe estar de tal modo situada, que autoabastecida por su terreno cultivable, en la medida en que lo permita el humano entendimiento y la humana condición, no carezca de ninguna cosa ni necesite obtenerla del exterior" (De re Aedificatoria. Libro Cuarto, Capítulo 2. León Battista Alberti).

"Ahora, si hay alguna parte de la ciudad que tenga que ver con lo que ha de tratarse en este lugar, ésa es, con certeza, el puerto. El puerto, sin duda, tiene la apariencia del recinto que hay en las pistas de carreras, del que dieras comienzo al viaje o en el que, finalizado el trayecto, te detuvieras y descansaras. Otros quizás entiendan que es el establo de la embarcación. Sea como tú quieras, recinto, establo y lugar de acogida, si lo específico de cualquier puerto es acoger al barco en su seno y protegerlo de la violencia de las tormentas, es sin género de dudas preciso que sus flancos sean sólidos y elevados. Debe, además, disponer de un espacio adecuado como para que puedan ser acogidas con comodidad y permanecer en él embarcaciones de gran tonelaje y cargadas; si se presta a tal fin la conformación misma del lugar, no puedes pedir más, salvo que tengas la fortuna -como en el caso de Atenas, que cuenta Tucídides que tuvo tres puertos naturales- de verte en la duda de qué lugar preferir a otros varios de iguales condiciones, donde llevar a cabo la edificación de las restantes construcciones que requiere un puerto.

Pero es un hecho sabido, de acuerdo con lo que hemos dicho en el libro I, que hay zonas en que no todos los vientos pueden soplar; otras, en que algunos de ellos lo hacen de una manera sumamente molesta e insistente. Por consiguiente, preferiremos aquel puerto en cuya bocana soplen las brisas más suaves y reposadas, y que tenga una salida y una entrada con vientos favorables y sin que sea preciso esperar mucho para tener tales vientos. Todos piensan que, de entre los vientos, el más calmo de todos es el bóreas; aseguran además que, cuando el mar es movido por el aquilón, queda en reposo nada más cesar el viento, mientras que, si es el austro el que deja de soplar, sigue ondeando durante largo tiempo" (De re Aedificatoria. Libro Cuarto, Capítulo 8. León Battista Alberti).

"Asimismo, se alzarán unas torres en la boca del puerto, elevadas y fortificadas de forma que desde ellas puedan divisar con antelación la aproximación de las velas y que, con el fuego que se enciende en ese lugar durante la noche, indiquen a los marineros una entrada segura" (De re Aedificatoria. Libro Cuarto, Capítulo 8. León Battista Alberti).

"Y prueba de que el veneno rehúye la presencia del fuego es un hecho que han constatado, a saber, que en los cadáveres de animales venenosos no se crían gusanos como en las otras bestias, por el hecho de que es consustancial con la naturaleza del veneno el matar y extinguir toda energía vital" (De re Aedificatoria. Libro Décimo, Capítulo 13. León Battista Alberti).

"Un carnicero que vendiera carne corrompida sería condenado, pero el código permite imponer alojamientos corrompidos a las poblaciones pobres... El IV Congreso CIAM, celebrado en Atenas, ha hecho suyo el postulado siguiente: el sol, la vegetación y el espacio son las tres materias primas del urbanismo" (La Carta de Atenas. CIAM, 1941).

"Como el nido se parece al pájaro y la caverna a la fiera, así la ciudad se asemeja al hombre. 3 de abril 1882, Arturo Soria y Mata (Arturo Soria y Mata).

Los organismos condenados a perecer son cada vez más débiles en la sucesión de los tiempos. (Arturo Soria y Mata).

La arquitectura, tras el desastre de estos últimos cien años, debe ser puesta de nuevo al servicio del hombre ¿quien podrá adoptar las medidas necesarias para llevar a buen fin esta tarea, si no es el arquitecto que posee un perfecto conocimiento del hombre, que ha abandonado los grafismos ilusorios y que, con la justa adaptación de los medios a los fines propuestos, creará un orden que llevará en sí su propia poesía? (La Carta de Atenas. CIAM, 1941).

La arquitectura preside los destinos de la ciudad... La arquitectura es responsable del bienestar y de la belleza de la ciudad (La Carta de Atenas. CIAM, 1941).

La ciudad se ha presentado en la historia, como un organismo complejo, emplazada en un territorio. Si vemos la ciudad antigua, ésta, unas veces aparece asociada geoméricamente al territorio natural y a su topografía y en otros casos la vemos con una geometría y un trazado que la diferencia claramente de él. Estas formas geométricas irregulares (orgánicas) o regulares (geométricas) son dos ordenes que han estado presentes desde las primeras ciudades (Higueras, 2006) y en cualquier caso, siempre ha sido creada, transformando el espacio rural.

En general, una estructura urbana de tipo irregular se emplaza en laderas o en cimas, dispone de poco espacio público –sólo existe el del centro religioso y el político-, posee poca vegetación y no existen diferencias entre los espacios de las calles para definir jerarquizaciones. Posiblemente el mayor valor del espacio público es la comunicación a través de él, que permite ir de un lugar a otro.

Por otro lado, una estructura urbana de tipo regular o geométrica, se emplaza en lugares principalmente llanos, disponiendo de espacios públicos y una jerarquización de vías urbanas. Su trazado es una red generalmente rectangular y planificada. Se presenta diseñada sobre un territorio, con intención de conjunto y emplazada valorando ejes viales con orientaciones cardinales. Estos ejes definen espacios de manzana, que potencialmente son la parte “llena” del suelo urbano, y espacios abiertos, donde se produce la vida pública.

Ambas responden “geoméricamente” al comportamiento del clima; las irregulares, se adecuan a las condiciones de su territorio y al clima, mientras que las regulares siguen direcciones rectas, orientan calles, fachadas y volúmenes a vientos favorables y su canalización y fachadas a un buen soleamiento directo, pero es posible advertir que la adecuación es siempre parcial entre el medio natural y el urbano.

Si bien la ciudad planificada valora la línea recta sobre la sinuosa, el caso de la geometría de los crecimientos urbanos de polígonos tipo ciudad jardín se presenta como un caso aislado de ciudad planificada que da valor de una vida más bucólica, a la mayor presencia de vegetación y las formas sinuosas asociadas a las “formas naturales”.

Higueras (op. cit. 2006) evalúa las ciudades “geométricas” y “orgánicas” en función de características de emplazamiento, espacios públicos y elementos urbanos como la vegetación. Se aprecia que las ciudades geométricas buscan lugares llanos para su ubicación y presentan una estructura de espacios diferenciados y jerarquizados, distinguiendo los espacios públicos.

		ELEMENTOS DE EVALUACIÓN				
		Ordenación del conjunto				
Ciudad		Emplazamiento: llanura, ladera o alto	Estructura urbana: calles jerarquizadas	Espacios públicos: Sí/No	Paisaje	Vegetación
GEOMÉTRICA	El Kahun	Llano	Sí	Sí	No	No
	Delfos	Ladera	No	Sí	Sí	Sí
	Mileto	Ladera	Sí	Sí	Sí	No
	Rodas	Ladera	Sí	Sí	Sí	No
	Pérgamo	Ladera	Sí	Sí	Sí	-
	Olinto	-	Sí	-	Sí	-
	Priene	Ladera	Sí	Sí	Sí	Sí
	Pompeya	Ladera	Sí	Sí	No	No
	Timgad	Llano	Sí	Sí	No	No
	Zaragoza	Llano	Sí	Sí	No	No
	Lima	Llano	Sí	Sí	No	No
	Santiago de Chile	Llano	Sí	Sí	No	No
	Buenos Aires	Llano	Sí	Sí	No	No
	Filadelfia	Llano	Sí	Sí	No	No
	Manhattan	Llano	No	No	No	No
	Naarden	Llano	Sí	Sí	No	No
	Sforzinda	Llano	Sí	Sí	No	No
	Versalles	Llano	Sí	Sí	Sí	Sí
	Washington	Llano	Sí	Sí	No	Sí
Viena	Llano	No	Sí	No	Sí	
Bath	Llano	Sí	Sí	No	Sí	

		ELEMENTOS DE EVALUACIÓN				
		Ordenación del conjunto				
Ciudad		Emplazamiento: llanura, ladera o alto	Estructura urbana: calles jerarquizadas	Espacios públicos: Sí/No	Paisaje	Vegetación
ORGÁNICA	Avebury	Llano	No	No	Sí	Sí
	Ggantija	Ladera	No	Sí	Sí	No
	Stonehenge	Llano	No	Sí	Sí	No
	Hattusa	Ladera	No	Sí	Sí	-
	Micenas	Alto	No	No	Sí	-
	Knosos	Ladera	Sí	Sí	Sí	Sí
	Madrid	Llano	Sí	Sí	No	No
	Toledo	Alto	No	Sí	Sí	No
	Córdoba	Llano	No	No	No	No
	Granada	Ladera	No	No	Sí	Sí
	Berna	Ladera	Sí	Sí	Sí	Sí
	Burgos	Alto	Sí	No	No	No
	Vitoria	Alto	Sí	Sí	Sí	No
	Salamanca	Llano	Sí	Sí	No	No

Tabla 2.2 Ejemplos y características de ciudades geométricas y orgánicas. Fuente: Higuera op. cit., 2006.

Las formas urbanas de Valparaíso y Barcelona no escapan de estas definiciones que asocian forma topográfica, lugar y forma del tejido urbano, en las distintas épocas de la historia.

Valparaíso se presenta como una ciudad de trazado regular por fundación, irregular por topografía y regular e irregular por crecimiento, siguiendo lineamientos postindustrial y vernáculos y adaptándose a la topografía de sus cerros.

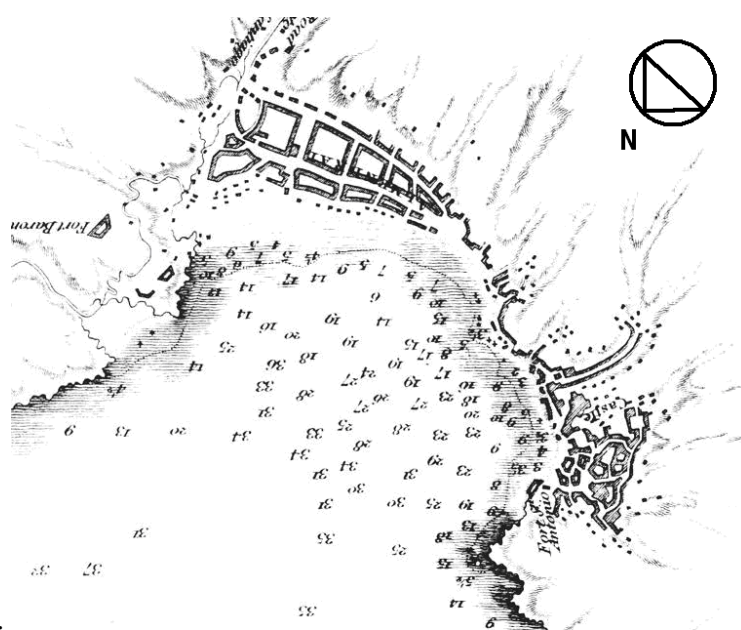


Fig. 2.26 Plano de Valparaíso, 1825. Fuente: Archivo Biblioteca Nacional, Chile

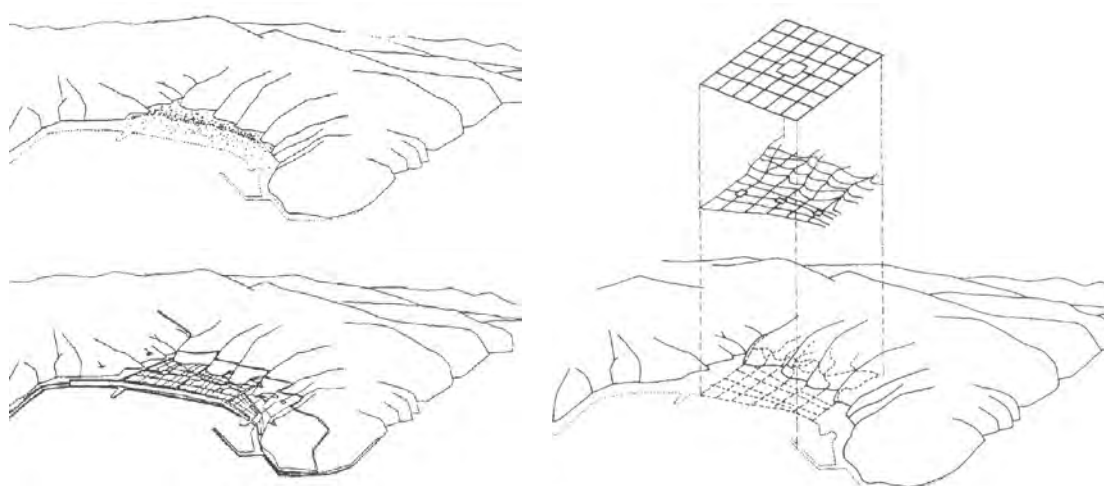


Fig. 2.27 Izquierda superior, Topografía de la localidad de emplazamiento de la ciudad de Valparaíso.

Fig. 2.28 Izquierda inferior, Estructura principal de trazado de la ciudad de Valparaíso.

Fig. 2.29 Derecha, Gráfica del trazado de Valparaíso, que muestra la adaptación de este a su condición topográfica.

Fuente: Oyarzun, A. et. al. (1998).

Barcelona en su crecimiento y desarrollo aparece como una ciudad con trazado regular romano, trazado irregular medieval y trazado regular postindustrial.



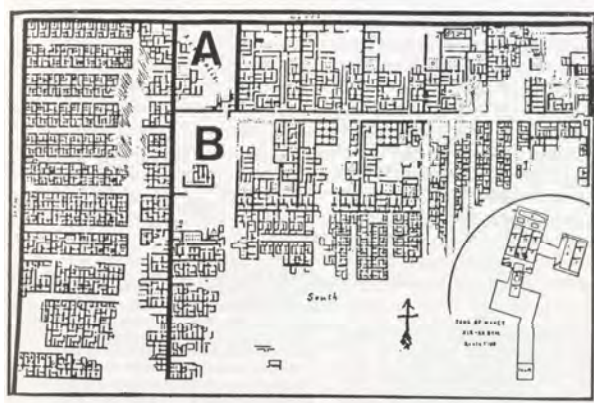
Fig. 2.30 Izquierda, Planimetría de Barcelona en época romana.

Fig. 2.31 Centro, Planimetría de Barcelona en época medieval. Fuente: Morris 1994, History of Urban Form.

Fig. 2.32 Derecha, Planimetría de Barcelona en época actual. Fuente:

<http://usuarios.lycos.es/jabizanda/album/miscelanea/tn/bcnsatelite.jpg.index.html>

Podemos acotar de acuerdo a la bibliografía revisada, que desde los primeros tiempos el hombre ha intentado controlar los sucesos naturales; con su conocimiento aplicado ha intentado modificarlos local y puntualmente para crear condiciones ambientales más próximas a sus márgenes de adaptabilidad climática.



Trazados que muestran una intención de alineamiento y ortogonalidad de espacios urbanos orientados según los puntos cardinales.

Fig. 2.33 Izquierda, Tel-el Amarna, Egipto aprox. 1347 a. de C.

Fig. 2.34 Derecha, Kahun o El Lahun Egipto y 1835 a. de C.

Fuente: Morris op. cit. 1994. History of Urban Form.

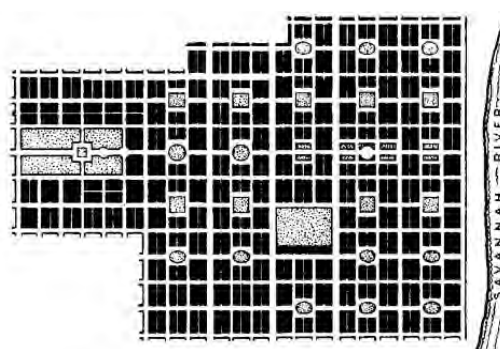
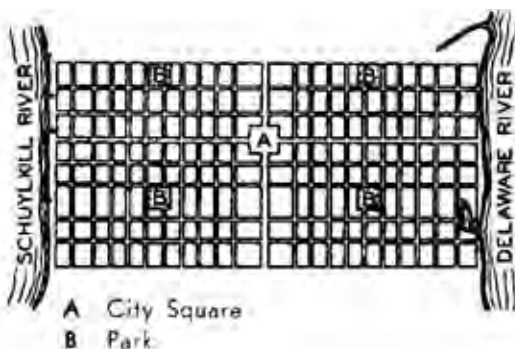
El mayor conocimiento ambiental y constructivo permitió la elaboración de tecnologías para modificar la relación con la naturaleza próxima y conformar climas más confortables (diferentes a los que existían en el lugar de emplazamiento antes de intervenir en ellas). Con el tiempo, las formas de intervención se han ido refinando y complejizando. Pero el valor dado a las espacialidades de geometría regular la distingue de cualquier suceso en la escala en que la ciudad existe hoy. Estas directrices de diseño se fundan en aspectos defensivos, económicos, religiosos, climáticos, etc. Se muestra a continuación planimetrías de tejidos geométricos fundados a partir de alguno de estos aspectos.



Ejemplos de tejidos regulares originados en directrices defensivas.

Fig. 2.35 Izquierda, Neuf brisach, Francia 1698. Fuente: Google Earth.

Fig. 2.36 Derecha, Karlsruhe, Alemania 1715. Fuente: Google Earth.



Ejemplos de tejidos regulares y trazados para su fundación.

Fig. 2.37 Izquierda, Filadelfia (1682). Fuente: Gallion y Eisner, The Urban Pattern, 1986.

Fig. 2.38 Derecha, Savannah (1733). Fuente: Gallion y Eisner, The Urban Pattern, op. cit. 1986.



Estas imágenes son manifiesto del valor geométrico dado por el trazador a la ciudad trazada. Estos casos no parecieran ser representativos del interés del diseño climático en la forma urbana, pero si ponen de manifiesto el interés de dar forma al espacio originado por el hombre, sea en época antigua o presente.

Fig. 2.39 Izquierda, Ciudades diseñadas a partir de formas de Mandalas. Fuente: Morris op. cit. 1994, History of the Urban Form.

Fig. 2.40 Centro, Ciudad Al Rawda, Siria (2000 a. de C.) Fuente: National Geographic, Abril 2007.

Fig. 2.41 Derecha, El poblado de Nahalal Israel (1921) diseñada por Richard Kauffmann. Fuente: National Geographic, Febrero 2008.

Actualmente, las directrices geométricas del estilo internacional han dado forma a tejidos similares en climas diversos, en que el valor del suelo por sobre otras necesidades de habitabilidad, propicia las formas geométricas del espacio urbano. Esto se ilustra en el siguiente ejemplo:

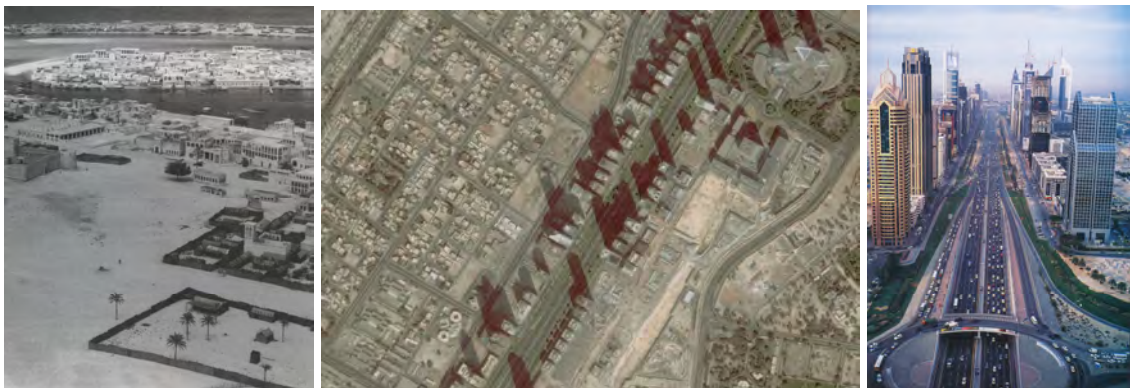


Fig. 2.42 Izquierda, Dubai de edificaciones tradicionales. Fuente: Morris op. cit. 1994, History of Urban Form.

Fig. 2.43 Centro, Dubai de estilo internacional. Fuente: Google Earth.

Fig. 2.44 Derecha, Avenida en Dubai con una geometría de trazado y de edificaciones tipo "internacional-occidental" de clima templado en un clima árido. Fuente: National Geographic, enero 2007.

Los edificios de la Avenida de la figura 2.44 son los que proyectan largas sombras en la imagen central de la figura 2.43.

Se hace una revisión de algunos tratados fundacionales de la ciudad y de sus tejidos, que definieron la forma urbana a lo largo de la historia, siguiendo un orden cronológico hasta la época moderna. Se pone atención en aquellos que tratan el espacio público en su concepción climática y regulatoria en cuanto a esta.

Los textos y tratados revisados son La Política, de Aristóteles de Estagira y Del Aire, Del Agua y De Las Ciudades en los Tratados Hipocráticos de Hipócrates, como la visión griega de los aspectos a considerar en el diseño del espacio urbano; 10 Libros de Arquitectura, de Marco Lucio Vitruvio, como la visión Romana; De Re Aedificatoria de León Battista Alberti, como la visión Renacentista del clima del espacio urbano; Ordenanzas, Redescubrimiento y Población de las Indias, de Felipe II; Los Cuatro Libros de Arquitectura de Andrea Palladio; Bibliografía de I. Cerdá y el Eixample de Barcelona; La Ciudad Jardín de Ebenezer Howard y de Arturo Soria y Mata, La Ciudad Lineal; La Carta de Atenas, de

Clarence Perry, que recoge postulados de Walter Gropius y Le Corbusier. Finalmente se pone atención en la visión del espacio urbano en la ciudad islámica.

No hay que dejar de mencionar que, además de la visión oficial del suceso arquitectónico y urbano, existen otras visiones que sí se han preocupado de los aspectos en cuestión, aunque sea en pequeña medida. Algunos "visionarios" de la ciudad en los años cincuenta, como Schöffner, Friedman o Peter Matt también dan valor a la calidad climática del espacio urbano y ponen atención en aspectos como el tiempo, la luz, el sonido, la condición del clima y el espacio (Ragon, 1969).

Se encontró en la bibliografía revisada, cuatro aspectos significativos que relacionan conformación morfológica del espacio urbano, decisiones de emplazamiento y comportamiento climático. Estos son descritos a continuación como:

Elección del sitio
Forma del trazado
Dirección y Proporción de calles
Caracterización de plazas

El valor de estos aspectos se evidencia respecto de la salud de los habitantes y el clima propuesto y buscado en los espacios conformados. Se relacionan fundamentalmente con características geométricas y de emplazamiento, pero la percepción global del suceso urbano pone en valor la consideración de aspectos de salubridad de sus habitantes.

A continuación se hará un breve recuento descriptivo y citas textuales de estos temas desarrollados en los tratados y textos revisados. Se indica una referencia cronológica identificada como "Propuesta" o "consideración", para seguir un orden histórico.

2.1.2.1 ELECCION DEL SITIO

Consideración en Propuesta Griega:

Se plantea poner atención a las condiciones climáticas del lugar de emplazamiento de las ciudades y que es importante que este emplazamiento permita que se desarrolle una ciudad saludable y con una buena orientación y que de esto dependerá la salud de sus habitantes.

Consideración en Propuesta Romana:

Sobre la elección del sitio, Vitruvio lo describe, diciendo que "...habrá que escogerse un lugar de aires sanísimos. Este lugar habrá de ser alto, de temperatura templada, no expuesto a las brumas ni a las heladas, ni al calor ni al frío...tampoco serán sanos los lugares cuyas murallas se asentaren junto al mar, mirando a mediodía o a occidente, porque en estos sitios el sol, en verano, tiene mucha fuerza desde que nace, y al mediodía resulta abrasador; y en los expuestos a occidente el aire es más cálido a la puesta del sol. Y estos cambios repentinos de calor y frío alteran notablemente la salud de los seres que a ellos están expuestos". Continúa más adelante diciendo que "...al asentar las murallas, es preciso tener en cuenta estas consideraciones y evitar aquellas regiones en las que reinen vientos cálidos..." (Libro Primero, Capítulo V).

Propuesta de Alberti:

Respecto de la localización de la ciudad dice, destacando el valor que a ello daban en la antigüedad, que para "asegurar que no tuviera (de ser posible) nada dañino y que estuviera acompañada de todas las facilidades. Sobre todo, tomaron gran cuidado para evitar un clima que pudiera ser desagradable y nocivo; era una preocupación muy prudente, incluso, indispensable. Porque si bien no hay duda que cualquier defecto de la

tierra o del agua puede ser remediado por la destreza e ingeniosidad, ninguna máquina de la mente o de las manos podría mejorar apreciablemente el clima... (Libro Primero, 3). Alberti, al igual que Vitruvio e Hipócrates, pone énfasis en la elección del sitio en cuanto a su relación con el sol y el viento, las nieblas y los aires pestilentes. Aconseja que las ciudades de costa no estén en sectores con orientación sur debido al reflejo de los rayos solares (Libro Primero, 3); hace énfasis en lo valorable de habitar un clima moderado, relativamente húmedo ubicado en un sitio ni muy alto ni muy bajo, pero plano y de fácil acceso (Libro Primero, 4); Caracteriza las ubicaciones al pie de montañas situadas al oeste como lugares insalubres dada la exposición a súbitas exhalaciones marinas y oscuridad extrema, evitando también las regiones azotadas por tormentas y cambios de temperatura (Libro Primero, 5). Pero deja en claro que estos son consejos a seguir y que en esencia hay que localizar la ciudad para que goce de los beneficios de cada tipo de terreno y ninguna de sus desventajas.

Consideración en Propuesta de Ordenanza de Indias:

La reglamentación dice que los mejores sitios para fundar no han de estar en sitios altos porque en ellos molesta el viento ni bajos ya que estos "suelen ser enfermos" ya que no gozan de aires libres provenientes del norte o del mediodía. Indica que si tienen pendientes, que éstas orientadas al poniente o al levante y si necesariamente es un lugar alto, observar que no existe niebla (Punto 40).

Consideración en Propuesta Palladio:

Sin hablar específicamente sobre planificación urbana, Palladio señala el valor de habitar en un lugar "elevado y alegre", con un aire que "sea movido por el continuo soplar de los vientos y la tierra", apoyado por la inclinación del suelo. Da también validez a la calidad de las aguas y nombra a Vitruvio como quien ya había enseñado estas cosas². Sigue desarrollando el tema de la salubridad de los lugares de asentamiento de los edificios al referirse a que no es bueno ubicarse en los lugares de valles encerrados entre montañas, ya que además de estar privados de ver de lejos y de ser vistos, son contrarios a la salud por que al acumularse aguas en ellos, a raíz de las lluvias, se expulsan vapores pestilentes de ellos.

Consideración en Propuesta Islam:

Respecto de la elección del sitio de emplazamiento de un poblado, Ibn Jaldún en sus Prolegómenos, comenta que primeramente es necesaria la existencia, en el lugar de emplazamiento, de un río o de fuentes de agua pura y abundante, poniendo atención en que el aire también sea puro. Se refiere también a que si se sitúa cerca de aguas estancadas o en mal estado, la población padecería enfermedades. "Para que una ciudad esté preservada contra las influencias deletéreas de la atmósfera, es necesario levantarla en un lugar donde el aire es puro y no propenso a las enfermedades. Si el aire es inmóvil y de mala calidad, o si la ciudad está situada en las inmediaciones de aguas corrompidas, de exhalaciones fétidas o de pantanos insalubres, la infección de las cercanías se introducirá allí prontamente y propagará las enfermedades entre todos los seres vivientes que esa ciudad encierra"³.

Consideración en Propuesta de Ciudad Lineal:

La propuesta de ciudad lineal, respecto de la elección del sitio, plantea que la primera condición esencial para la vida de una población numerosa, parece ser el contacto con las grandes masas de agua. Dando valor a las ciudades existentes en que casi todas están a caballo sobre un río o sobre una ría.

Consideración en Propuesta del CIAM:

² Pág. 201-203. Palladio, Andrea. Los Cuatro Libros de Arquitectura. Ediciones Akal. Madrid. 1988.

³ P. 8. Youssef Hoteit, Aida. Cita Los Prolegómenos de Ibn Khaldun, escritos en 1374-1378-1382. En Cuadernos De Investigación Urbanística. Instituto Juan de Herrera. Madrid, 1993.

Respecto del sitio de emplazamiento, en el Capítulo 1, da valor a la necesidad de remitirse todo problema urbanístico a "los elementos constitutivos de la región y principalmente a su geografía, que está llamada a desempeñar en esta cuestión un papel determinante", poniendo en valor de los elementos constitutivos de la región y de su geografía pero siempre asociando estos contornos naturales a las vías de circulación. En esta asociación, considera que todo el plan de la ciudad forma parte del plan regional. Esto debido a que el paisaje regional es modificado al aparecer un plan de ciudad.

Teóricamente plantea la Carta en el Capítulo 3, que "la geografía y la topografía desempeñan un papel de considerable importancia en el destino de los hombres. No hay que olvidar jamás que el sol domina, imponiendo su ley, todo empeño que tenga por objeto la salvaguarda del ser humano... Según la incidencia del sol sobre la curva meridiana, las estaciones se empujan brutalmente o se suceden en una transición imperceptible". Sin embargo no plantea ninguna directriz de diseño.

2.1.2.2 FORMA DEL TRAZADO

Consideración en Propuesta Griega:

Al considerar criterios de confort climático, el plano de la ciudad se basa en una retícula formada por siete calles orientadas de este a oeste siguiendo las curvas de nivel, y quince caminos norte-sur que se adaptan a la pendiente y conecta a las otras entre ellas. Las calles principales tienen un ancho de 7 metros y las otras, 4 metros. Las manzanas definidas por este trazado son de forma rectangular, de 46 por 35 metros y contienen una media de cuatro viviendas.

Las plantas reticulares de las ciudades aparecen donde fue posible planificar una ciudad nueva. La actividad colonizadora griega entre los siglos IX a. C. y dio como resultado, que en el Mediterráneo se desarrollaran ciudades de plantas regulares en emplazamientos adecuados y bien orientados⁴.

Consideración en Propuesta Romana:

Vitruvio postula que "siguiendo los ángulos intermedios entre dos direcciones de vientos, parece que deben orientarse los trazados tanto de las plazas públicas como de las calles, de manera que con esta disposición se alejará de las viviendas y de las calles la molesta violencia de los vientos. Pues en efecto, si las calles estuvieran trazadas en la dirección de los vientos, entrando estos directamente del espacio abierto del cielo, su soplo e ímpetu constantes, comprimidos en lo angosto de las calles estrechas, se difundirían con mayor violencia. Las calles, pues, deben estar orientadas en sentido opuesto a la dirección de los vientos, a fin de que cuando soplen se quiebren en los ángulos formado por las manzanas de las casas y, rebatidos, se dispersen" (Libro Primero, Capítulo VI).

Consideración en Propuesta de Alberti:

Sobre el valor climático del espacio público señala que "la ciudad debe planificarse no sólo con vista a viviendas y otros edificios esenciales, sino que tiene que proveer áreas placenteras y espacios abiertos dispuestos para ornamento y para recreación, lejos de los centros de los negocios citadinos, como para carreras de caballos, jardines, ambulatorios, piscinas y así otros" (Libros Cuatro, 3).

Consideración en Propuesta de Ordenanza de Indias:

Una vez determinado el lugar de fundación, se ha de definir la forma de la ciudad a partir de la existencia de plazas, calles y solares (Punto 11). Que las calles nazcan de la plaza mayor, la que ha de tener una proporción de largo al menos una y media vez su ancho (Punto 112).

Indica también que en los lugares fríos, las calles sean anchas y en los lugares calurosos, éstas sean angostas (Punto 116).

⁴ P. 85. Brewer-Carías, Allan. 1997.

Consideración en Propuesta de Paladio:

Tomando como referencia a Vitruvio, señala que habrá que procurar, con el diseño de las calles, que los vientos no sean enfilados directamente para que no lleguen furiosos ni violentos, "sino que, para mayor salubridad de los habitantes, corran amansados, suaves, limpios y débiles"⁵.

Consideración en Propuesta de Ciudad Lineal:

Pone en valor las ciudades norteamericanas como Nueva York enfatizando que la forma reciente y más cercana de la perfección se advierte a las formas de trazado de estas ciudades donde existes dos series de calles paralelas cortándose en ángulo recto.

Favorecer la construcción de grandes barriadas a lo largo de la vía...casas para obreros, en condiciones higiénicas...disponer de más espacio, luz y aire que en la actualidad.

Una vía única central de 500 metros de ancho donde van al centro la línea férrea, la infraestructura, los servicios municipales en edificios, estanques y jardines entre otros. Vías locales.

Otro elemento del trazado son las manzanas que tendrán un largo de 300 metros separadas unas de otras por calles de 10 a 15 metros perpendiculares a los carriles. Interiormente habrán lotes de distinto tamaño, indicando que la búsqueda de una igualdad ante el derecho de sol, luz, aire y en definitiva la salud y la vida, lleva a proponer una ciudad de baja altura y de edificaciones aisladas en cada lote.

Plantea la necesidad de que cada familia tenga su hogar completamente separado de los demás en un terreno propio que reciba sol y tenga ventilación. Define así una forma de agrupación y delinea aspectos de la densidad de edificación.

Consideración en Propuesta del CIAM:

Respecto de las viviendas en particular, plantea que los barrios "deben ocupar los mejores emplazamientos en el espacio urbano, aprovechando la topografía, teniendo en cuenta el clima y disponiendo de la insolación más favorable y de los espacios verdes oportunos" (Cap. 23). Y que para ellas, las viviendas, se debe procurar "la elección de la vista más agradable, la búsqueda del aire más puro y de la más completa exposición al sol, y, por último, la posibilidad de crear en las proximidades inmediatas de la vivienda, las instalaciones colectivas, los locales escolares, los centros asistenciales y los terrenos de juego que serán las prolongaciones de aquella. Solamente unas construcciones de una cierta altura pueden dar feliz satisfacción a estas legítimas exigencias" (Cap. 27). Y respecto de la ubicación de las edificaciones en una trazado imaginario, hace referencia a la liberación del suelo de edificaciones al plantear que esas edificaciones deben estar ubicadas a grandes distancias las unas de las otras, pues de otro modo su altura, lejos de constituir una mejora, no haría más que agravar el malestar existente; ése es el gran error cometido en las ciudades de las dos Américas. La justa proporción entre los volúmenes edificados y los espacios libres es la fórmula que, por sí sola, resuelve el problema de la residencia" (Cap. 29) Entonces la casa dejará de estar soldada a la calle a través de la acera. La vivienda se alzará en su propio medio, donde disfrutará de sol, de aire puro y de silencio (Cap. 16). En la manera del trazado da valor a la movilidad mecánica con alcances mucho mayores que los carruajes pero también más peligrosos cuando las fachadas dan a aceras angostas. Respecto de esto último, plantea que "el tradicional alineamiento de las viviendas al borde de las calles sólo garantiza la exposición al sol a una parte mínima de los alojamientos. El alineamiento tradicional de los inmuebles a lo largo de las calles implica una disposición obligada del volumen edificado" (Cap. 17).

Potencia esta nueva relación entre superficie edificada y superficie libre que podrá variar de acuerdo a su Función, el Lugar y el Clima, dando valor a las superficies verdes que propone rodeen las edificaciones, de una manera distinta a lo que planteaba la ciudad jardín: "De cualquier modo, el trazado urbano deberá cambiar de textura: las aglomeraciones tenderán a convertirse en ciudades verdes. Contrariamente a lo que ocurre en las ciudades-jardín, las superficies verdes no estarán compartimentadas en

⁵ Pág. 269. Paladio, Andrea. Op. Cit.

pequeños elementos de uso privado, sino que se consagrarán al desarrollo de las diversas actividades comunes que forman la prolongación de la vivienda" (Cap. 35).

La referencia a las proporciones naturales se plantea tanto en las edificaciones como en el trazado de la ciudad..." La medida natural del hombre debe servir de base a todas las escalas, que se hallarán en relación con la vida del ser y con sus diversas funciones. Escala de las medidas aplicables a las superficies o a las distancias; escala de las distancias consideradas en su relación con la marcha natural del hombre; escala de los horarios, que deben determinarse teniendo en cuenta la diaria carrera del sol" (Cap. 76). Respecto de la forma de la ciudad considera la posibilidad de movilidad en automóvil como el refuerzo y complemento de la zonificación de la ciudad en áreas para habitar, para trabajar y para recrearse. Y plantea una dicotomía al decir que "la vida cotidiana parece aconsejar, a primera vista, una mayor extensión horizontal de las ciudades; pero la necesidad de regular las diversas actividades de acuerdo con la duración de la carrera del sol se opone a esta concepción, cuyo inconveniente reside en imponer unas distancias que no guardan relación alguna con el tiempo disponible (ver Cap. 79). Para el CIAM, la circulación se convierte en una función de primera importancia para la vida urbana.

Esta posibilidad de dejar espacios libres y de construir en altura posibilita que "las funciones claves -habitar, trabajar y recrearse" se desarrollen en edificaciones que cuenten a la vez con espacio suficiente, sol y ventilación (ver Cap. 82), lo que hará variar la situación existente en las ciudades en que "la proporción de las fachadas no soleadas varía entre la mitad y las tres cuartas partes del total. En ciertos casos esta proporción es más desastrosa todavía" (Cap. 17).

2.1.2.3 DIRECCIÓN Y PROPORCIÓN DE CALLES

Consideración en Propuesta Griega:

Aristóteles cita nuevamente a Hipodamo al hablar de lo convenientes que son las calles rectas. Aunque conviene en que por combinación de seguridad y belleza, sólo ciertos sectores de la ciudad tendrán este tipo de calles⁶, sin definir claramente cuales.

Consideración en Propuesta Romana:

⁶ "No repetiremos por qué la ciudad debe ser, a la vez, continental y marítima, y en relación, en cuanto sea posible, con todos los puntos del territorio, puesto que ya lo hemos dicho más arriba. En cuanto a la situación considerada en sí misma, cuatro cosas deben tenerse en cuenta. La primera y más importante es la salubridad: la exposición al Levante y a los vientos que de allí soplan es la más sana de todas; la exposición al Mediodía viene en segundo lugar, y tiene la ventaja de que el frío en invierno es más soportable. Desde otros puntos de vista, el asiento de la ciudad debe ser también escogido teniendo en cuenta las ocupaciones que en el interior de ella tengan los ciudadanos y los ataques de que pueda ser objeto. Es preciso que, en caso de guerra, los habitantes puedan fácilmente salir, y que los enemigos tengan tanta dificultad de entrar en ella como en bloquearla. La ciudad debe tener dentro de sus muros aguas y fuentes naturales en bastante cantidad, y a falta de ellas conviene construir vastos y numerosos aljibes destinados a guardar las aguas pluviales, para que nunca falte agua, caso de que durante la guerra se interrumpen las comunicaciones con el resto del país. Como la primera condición es la salud de los habitantes, y ésta resulta, en primer lugar, de la situación y posición de la ciudad que hemos expuesto, y en segundo, del uso de aguas saludables, este último punto exige también la más severa atención. Las cosas que obran sobre el cuerpo con más frecuencia y más amplitud tienen también mayor influjo sobre la salud; y en este caso se encuentra precisamente la acción natural del aire y de las aguas. Y así, en cualquier punto donde las aguas naturales no sean ni igualmente buenas, ni igualmente abundantes, será prudente separar las potables de las que pueden servir para los usos ordinarios. En cuanto a los medios de defensa, la naturaleza y la utilidad del emplazamiento varían según las constituciones. Una ciudad situada en lo alto conviene a la oligarquía y a la monarquía; la democracia prefiere para esto una llanura. La aristocracia desecha todas estas posiciones y se acomoda más bien en algunas alturas fortificadas. En cuanto a la disposición de las habitaciones particulares, parecen más agradables y generalmente más cómodas si están alineadas a la moderna y conforme al sistema de Hipódamo. El antiguo método tenía, por el contrario, la ventaja de ser más seguro en caso de guerra; una vez los extranjeros en la ciudad, difícilmente podían salir, después de haberles costado la entrada no menos trabajo. Es preciso combinar estos dos sistemas, y será muy oportuno imitar lo que nuestros cosecheros llaman tresbolillo¹⁴ en el cultivo de las viñas. Se alineará, por tanto, la ciudad solamente en algunas partes en algunos cuarteles, y no en toda su superficie; y de este modo irá unida la elegancia a la seguridad". Aristóteles. Política, Libro IV Capítulo X.

Vitruvio aclara, respecto del trazado de calles, que "...será acertada la disposición si prudentemente se procurara evitar que enfilen directamente con las calles los vientos; los cuales, si son fríos, molestan; si son cálidos, vician; si húmedos, dañan. Se debe, pues, huir de tales inconvenientes, y tener cuidado de que no suceda lo que suele acontecer en muchas ciudades, y entre éstas especialmente en la ciudad de Mitilene, en la isla de Lesbos, construida con magnificencia y belleza, pero emplazadas con poca previsión, pues en ella cuando sopla el viento del Mediodía, que es el austro, las personas enferman; y cuando el gallego o coro, tosen; y cuando la tramontana, se reestablecen; pero este es tan frío, que cuando sopla es imposible estar en calles y plazas" (Libro Primero, Capítulo VI).

Consideración en Propuesta de Alberti:

Respecto al trazado de calles aconseja que "los ángulos deben posesionarse en contra de la presión de las rocas o de la dirección de los vientos y aguas violentas, de manera que se puedan dividir y disipar las ráfagas destructivas cuando golpeen" (Libro Primero, 8).

Añade, en el Libro Cuarto (Libro Primero, 5), con respecto a calles, que "no sean rectas, sino gentilmente ondulantes como un río que baña ahora aquí, ahora allá, de una orilla a la otra" y valorando la plaza en cuanto a su conformación perimetral que acoja una vida en galería, sombría y protegida.

Consideración en Propuesta de Ordenanza de Indias:

Esta Ordenanza dice: "Y dado que la experiencia dice que las calles orientadas a los cuatro vientos principales generan muchos inconvenientes para estar en ellas, se recomienda que las cuatro esquinas de la plaza, desde donde salen las calles principales, no estén orientadas a los cuatro vientos", es decir, que la plaza esté girada con respecto a los puntos cardinales (Punto 114).

Consideración en Propuesta de Palladio:

Haciendo nuevamente referencia a Vitruvio, esta vez a su Libro I, capítulo VI, señala que habrá que procurar, con el diseño de las calles, que los vientos no sean enfilados directamente para que no lleguen furiosos ni violentos, "sino que, para mayor salubridad de los habitantes, corran amansados, suaves, limpios y débiles"⁷.

Consideración en Propuesta de Ciudad Lineal:

El diseño de la ciudad Lineal determina una vía única central de 500 metros de ancho donde van al centro la línea férrea, la infraestructura, los servicios municipales en edificios, estanques y jardines entre otros junto a vías locales, pero no determina orientación de ellas.

Consideración en Propuesta del CIAM:

Respecto de los centros densamente poblados como los cascos antiguos señala que en ellos hay "falta de sol (mala orientación o consecuencias de sombra proyectadas sobre la calle o el patio) (Punto 9)... Lo que constituye el tugurio es el estado interior de la vivienda, pero la miseria de ésta se prolonga en el exterior por la estrechez de las calles sombrías y la carencia total de espacios verdes, creadores de oxígeno, que tan propicios serían para el recreo de los niños (Punto 10)... Cuanto más crece la ciudad, menos se respetan las «condiciones naturales». Por «condiciones naturales» se entiende la presencia, en proporción suficiente, de ciertos elementos indispensables para los seres vivos: sol, espacio, vegetación. Un ensanchamiento incontrolado ha privado a las ciudades de estos alimentos fundamentales de orden tanto psicológico como fisiológico (Punto 11). Respecto de las orientaciones de las fachadas como consecuencia del alineamiento de estas en las calles, "las reglamentaciones municipales, desgraciadamente, dejan a quienes buscan la ganancia la libertad de limitar estos patios a dimensiones verdaderamente escandalosas. Se llega así al triste resultado siguiente:

⁷ Pág. 269. Palladio, Andrea. Op. cit.

una fachada de cada cuatro, con vistas a la calle o a un patio, está orientada hacia el norte y no conoce el sol, mientras que las otras tres, a consecuencia de la angostura de las calles, de los patios, y de la sombra que de ellos resulta, están igualmente privadas a medias de él" (Punto 17).

2.1.2.4 CARACTERIZACIÓN DE PLAZAS

Consideración en Visión Griega:

Las primeras son las que están inmediatamente al lado de los templos y estarán destinados a las divinidades, serán lugares calmos en actividad. Mientras las otras, estarán destinadas al comercio⁸. Es decir, había una decisión de posición y diseño de las calles que involucraba salud, comercio, vida pública y seguridad.

Consideración en Propuesta Romana:

Con respecto a la conformación y uso del espacio público, Vitruvio comenta que "los griegos construyen sus plazas en forma cuadrada con dobles y espaciosos pórticos, y las adornan con numerosas columnas...y hacen galerías para ambulatorios en la parte superior" (Libro Quinto, Capítulo I, 109). Esto deja en claro el valor climático dado al espacio público, al considerar no sólo una geometría que responde a los cánones establecidos en los capítulos anteriores, sino que además construye un perímetro como espacio sombreado, fresco y protegido. Así también aconseja que el mercado se sitúe contiguo a las plazas públicas, en las zonas más calidas, es decir, al lado sur de la plaza, a fin de que pueda funcionar protegido de las inclemencias del tiempo (Libro Quinto, Capítulo I).

Consideración en Propuesta de Alberti:

No enfatiza en el valor de las plazas.

Consideración en Propuesta en Ordenanza de Indias:

Da valor al perímetro de la plaza y a las calles principales que salen de ella, indicando la necesidad de edificar portales a todos sus largos (Punto 115).

Consideración en Propuesta de Palladio:

Con respecto a las plazas se refiere a ellas como aquellos lugares en donde se "reúnan las gentes a pasear, a entretenerse y a tratar"⁹. Dice de ellos que han de ser lugares bellos y espaciosos, y que a su alrededor se han de colocar pórticos para el resguardo de las lluvias, la nieve y las inclemencias del aire y del sol.

Consideración en Propuesta de Ciudad Lineal:

Respecto de espacios jerarquizados como plazas sólo hace referencia al valor dado al espacio central de la gran vía central de 500 metros, donde plantea espacios de uso comunitario y jardines. Y refiriéndose a un caso en particular, en el punto 3 de los objetivos propone que al cabo de unos pocos años la ciudad de Madrid estará rodeada de jardines.

⁸ Al pie de la eminencia en que estará situado el edificio será conveniente que esté la plaza pública, construida como la que se llama en Tesalia *Plaza de la Libertad*. No se consentirá nunca que esta plaza se manche dejando tener en ella mercancías, y se prohibirá la entrada en ella a los artesanos, a los labradores y a todo individuo de esta clase, a menos que el magistrado expresamente los llame. También es preciso que el aspecto de este lugar sea agradable, puesto que será allí donde los hombres de edad madura se dedicarán a los ejercicios gimnásticos, porque hasta desde este punto de vista deben separarse los ciudadanos según su edad, y algunos magistrados asistirán a los juegos de la juventud, así como los de madura edad asistirán algunas veces a los de los magistrados. La presencia del magistrado inspira verdadero acatamiento y aquel respetuoso temor que es propio del corazón del hombre libre. Lejos de esta plaza, y bien separada de ella, estará la destinada al tráfico, debiendo ser este sitio de fácil acceso para todas las mercancías que se transporten, procedentes del mar y del interior del país. Aristóteles. La Política, Libro IV Capítulo XI.

⁹ Pág. 309. Palladio, Andrea. Op. cit.

Consideración en Propuesta CIAM:

Sobre la idea de plaza y respecto de la jerarquización de espacios (de naturaleza o no), no considera directrices. En el caso de los espacios de vegetación, este está condicionado por las propuestas de vegetación en la misma estructura de espacios abiertos de los conjuntos edificados.

2.1.2.5 SALUD Y CLIMA

Se indica a continuación la consideración respecto de la salud de la población, en los textos revisados, asociando a estas las orientadas respecto del confort climático de los espacios urbanos.

Consideración en Propuesta Griega:

Aristóteles dice en el libro IV, capítulo VI, que el clima determina el comportamiento y nivel de inteligencia y desarrollo de una población, al referirse a las cualidades naturales que deben tener los ciudadanos de la república perfecta. Y pone en el mejor lugar al clima en que se ubican las ciudades de Grecia y sus cercanas¹⁰.

Consideración en Propuesta Romana:

Vitrubio define que los cambios repentinos de calor y frío alteran notablemente la salud de los habitantes expuestos ellos. Continúa más adelante diciendo que "...al asentar las murallas, es preciso tener en cuenta estas consideraciones y evitar aquellas regiones en las que reinen vientos cálidos..." (Libro Primero Capítulo V).

Consideración en Propuesta de Alberti:

En el libro cuarto, considera que al emplazamiento, el sitio y el trazado en la ciudad se le han de dar la máxima importancia ya que, tomando las precauciones debidas, la ciudad debe ofrecer a sus habitantes una vida pacífica, libre de todo posible inconveniente y daño (Libro Cuatro, 2).

Consideración en Propuesta de Ordenanza de Indias:

Respecto a las características climáticas de las tierras elegidas para poblar las indias, en los capítulos referentes a las Nuevas Poblaciones dice de la elección de los lugares. Se refiere a ellos en los términos que han de ser primeramente saludables, que se reconoce en el tipo de gente y tipo de frutos y en sus colores. Que han de ser de cielos claros y benignos, de aire puro y suave, sin exceso de calor ni de frío, aunque es preferible más esto último (Punto 32). Sin por ello renunciar a sus condiciones de productividad fértil de sus tierras ni a la de contar con abundante agua de beber y con buena conectividad por tierra y más para el comercio (Puntos 35, 36, 37).

Consideración en Propuesta de Palladio:

Microclimáticamente dice que si el sol entra, habrá demasiado calor, y si no entra, al no recibir sol los habitantes, "se harán estúpidas y de más color". Con respecto a los vientos añade los inconvenientes de su entrada por valles estrechos, que aumentan su velocidad

¹⁰ ..." puede formarse una idea de ellas con sólo echar una mirada sobre las ciudades más célebres de la Grecia y sobre las diversas naciones que ocupan la tierra. Los pueblos que habitan en climas fríos, hasta en Europa, son, en general, muy valientes, pero son en verdad inferiores en inteligencia y en industria; y si bien conservan su libertad, son, sin embargo, políticamente indisciplinables, y jamás han podido conquistar a sus vecinos. en Asia, por el contrario, los pueblos tienen más inteligencia y aptitud para las artes, pero les falta corazón, y permanecen sujetos al yugo de una esclavitud perpetua. la raza griega, que topográficamente ocupa un lugar intermedio, reúne las cualidades de ambas. Posee a la par inteligencia y valor; sabe al mismo tiempo guardar su independencia y constituir buenos gobiernos, y sería capaz, si formara un solo estado, de conquistar el universo. En el seno mismo de la Grecia los diversos pueblos presentan entre sí desemejanzas análogas a las que acabamos de indicar: aquí predomina una sola cualidad; allí todas se armonizan en una feliz combinación. Puede decirse sin temor de engañarse que un pueblo debe poseer a la vez inteligencia y valor, para que el legislador pueda conducirle fácilmente por el camino de la virtud". Aristóteles. La Política, Libro IV Capítulo VI.

y fuerza, y de no existir viento, el aire se volverá más denso e insano¹¹ “...Pero estando la ciudad en región cálida deben hacerse sus calles estrechas y sus casa altas, a fin de que con su sombra y con la estrechez de la calles se temple el calor del lugar; por lo que se conseguirá más salubridad; lo cual (como se lee en Cornelio Tácito) se hizo más calurosa e insana después de que Nerón, para embellecerla, ensanchara sus calles”¹².

Consideraciones en propuesta de Ciudad Lineal:

Considera que las grandes ciudades de los hombres son las únicas que, lejos de garantizar la vida de sus habitantes, contribuyen eficazmente al aumento de su mortandad, y que por lo tanto la compatibilidad de la vida urbana y la vida saludable del campo, se establece dando a las ciudades la forma lógica que deben tener, que ha de estar libre de “la aglomeración de calles y de casas de muchos pisos en reducido espacio, ya que esto pugna contra la naturaleza, aumenta la mortalidad en proporciones aterradoras, complica los problemas de la vida urbana y engendra muchos y graves daños morales y materiales, a cambio de algunos beneficios intelectuales.

Consideraciones en propuesta CIAM:

Considera la premisa de que “la ciudad ya no responde a su función, que consiste en dar albergue a los hombres, y en albergarles bien” (Cap. 71), por tanto plantea que el urbanismo ha de adecuarse a las necesidades fundamentales de los hombres. La salud de cada uno depende, en gran parte, de su sumisión a las «condiciones naturales» (Cap. 12). Esta forma de enfrentar el diseño de la urbe, el CIAM plantea que tiene cuatro funciones principales, Primero, garantizar alojamientos sanos a los hombres, es decir, lugares en los cuales el espacio, el aire puro y el sol, esas tres condiciones esenciales de la naturaleza, estén garantizados con largueza; en segundo lugar, organizar los lugares de trabajo, de modo que éste, en vez de ser una penosa servidumbre, recupere su carácter de actividad humana natural; en tercer lugar, prever las instalaciones necesarias para la buena utilización de las horas libres, haciéndolas benéficas y fecundas; en cuarto lugar, establecer la vinculación entre estas diversas organizaciones mediante una red circulatoria que garantice los intercambios respetando las prerrogativas de cada una. Estas cuatro funciones, que son las cuatro claves del Urbanismo, cubren un campo inmenso, pues el Urbanismo es la consecuencia de una manera de pensar, llevada a la vida pública por una técnica de la acción (Cap. 77).

Así también no deja de advertir que los vehículos motorizados son perjudiciales a la salud de los habitantes de las ciudades (Cap. 80).

2.1.3 CONCLUSION PARCIAL. PALABRAS FINALES

La forma de la ciudad ha sido determinada por diferentes razones a lo largo de la historia. Razones de origen defensivo, religiosas, etc. Sin embargo, la idiosincrasia de un pueblo está íntimamente ligada a su condición climática y a la forma tradicional de sus espacios sociales. Por un lado, encontramos en climas templados y mediterráneos, espacios urbanos abiertos y públicos de alta valoración social y, vemos por otra parte, que en un clima cálido como la región donde se emplaza la ciudad islámica, existe una necesidad de sombra que da un alto valor a los interiores de las edificaciones y a los espacios exteriores estrechos.

¹¹ Pág. 201-203. Paladio, Andrea. Op. cit.

¹² Pág. 268. Paladio, Andrea. Op. cit

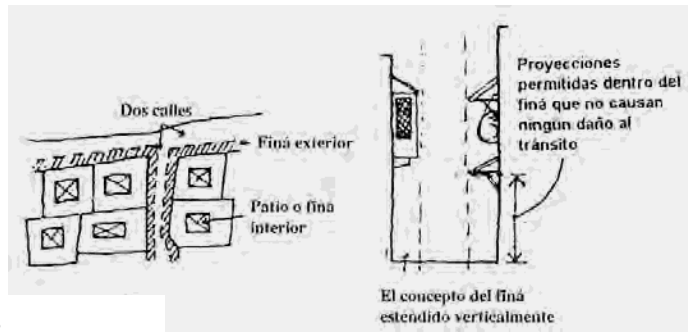
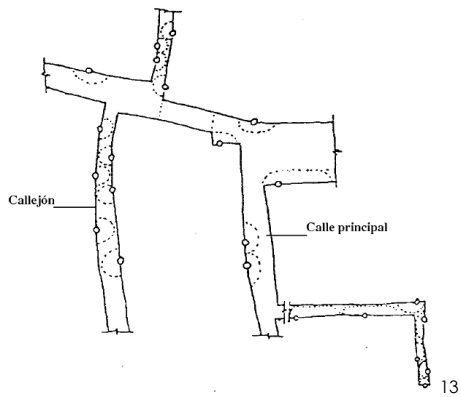


Fig. 2.45 Izquierda, El concepto de calle y de callejón en la ciudad islámica.
 Fig. 2.46 Centro y Fig. 2.47 Izquierda, elementos geométricos de la calle en la ciudad islámica.
 Fuente: Youssef (1993).

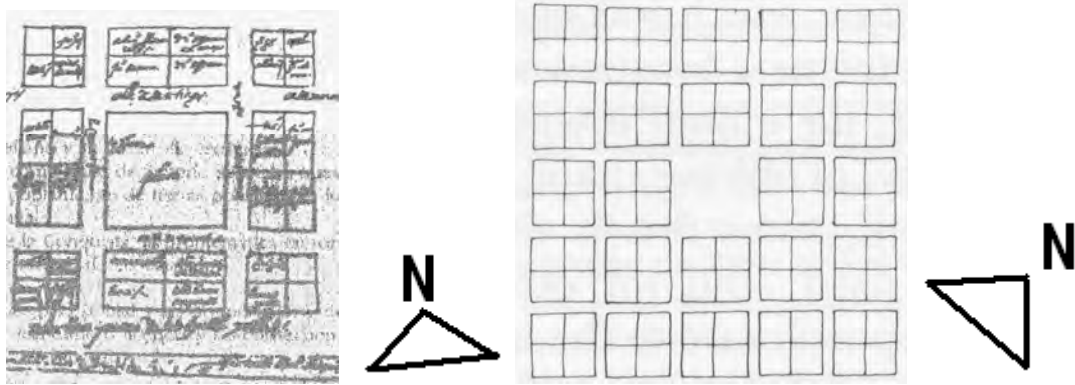
Los tratados revisados aquí, en tanto modelos morfológicos o guías de diseño de formas de tejidos urbanos, establecen patrones de emplazamiento y forma del tejido edificado, a partir de cualificar las condiciones climáticas de acuerdo al sitio de fundación y la topografía, la geometría del trazado del conjunto y de sus calles y plazas y su repercusión en el confort climático y salud de los habitantes.

Hemos visto que la ocupación de otros territorios climáticos, con respuestas formales "equivocadas" al clima se manifiesta en la fundación de tejidos urbanos sin la consideración de esta diferencia. La internacionalización de la forma urbana templada-mediterránea comienza con la fundación de ciudades fuera de ese clima. Esto sucedió en los procesos de colonización y ocupación del territorio americano.

¹³ Hassan Fathy comenta que el clima influyó no solamente en la construcción de la vivienda sino también en el diseño de las calles. Así nació la idea de la calle estrecha y cerrada con la misma función termo-reguladora del patio de la casa. La calle larga y abierta carece de sombra y del fenómeno del almacenamiento del aire frío de la noche y se calienta de una forma directa y creciente durante el día. Además la calle larga, recta y abierta carece de mojoneros y de atracciones como los que abundan en la calle estrecha, tortuosa y cerrada, lo que facilita el cansancio y el agotamiento del transeúnte, que se imagina al empezar a caminar que la meta es inalcanzable. (FATHY Hassan: *The Arab house in the urban setting: Past, Present and Future*, Fourth Carreras Arab lecture at the University of Essex, Longman, London, 1972. En Youssef, op. cit. 1993).

Al respecto, Chueca Goitia (1982, en Youssef, op. cit. 1993) comenta que al musulmán le repugna la alineación indefinida de una perspectiva continua que destruye toda intimidad. Por tanto, mediante estas calles quebradas, donde no existe ninguna alineación recta ni ningún transcurso continuo, logra el musulmán este sentido intimista hasta en el espacio menos privatizado, más público.

¹⁴ "Casi todos los países árabes están en un área que se extiende desde el Golfo pérsico hasta el océano Atlántico, y que es en su mayoría desértica y de clima seco y caliente. El gran calor del desierto, los rayos del sol y las tormentas de arena influyeron en que la vivienda del musulmán no se abra al exterior al mismo nivel de la tierra sino al cielo, el único factor natural del desierto que promete clemencia y reposo. Así la vivienda se abre hacia él por medio de un patio interno que actuará como un termo-regulador: el aire frío que circula por la noche se introduce a través del patio interno a las habitaciones, climatizando el aire y el ambiente hasta avanzado el día". FATHY Hassan, 1972, en Youssef, op. cit. 1993.



Ejemplos de dos ciudades fundadas por los españoles en América. Ambas presentan características formales geométricas similares, aunque si varían en orientación respecto del norte.

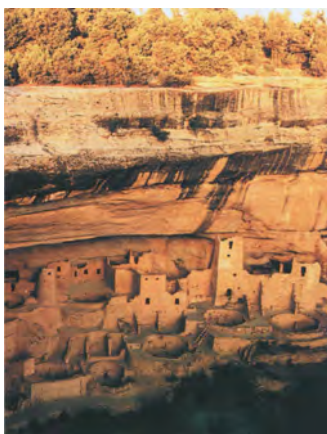
Fig. 2.48 Plano fundacional de Barquisimeto, Venezuela, Lat. 10° 4' N. Clima Aw (Koeppen). Fuente: Brewer-Carías. La Ciudad Ordenada.

Fig. 2.49 Esquema de plano de la ciudad de Concepción, Chile Lat. 36° 47' S. Clima Csb (Koeppen). Fuente: Morris op. cit. 1994, History of Urban Form.

Pareciera ser que las zonas más apropiadas para la ciudad ortogonal, la de trazado y fachadas que dan la forma característica al cañón urbano, es la que climáticamente se asemeja a la zona de las primeras implementaciones de esta: la mediterránea templada. Por tanto ciudades chilenas ubicadas en climas de este tipo como Valparaíso, Santiago, La Serena, Quillota, Concepción, Rancagua, etc., donde se instaló el "colonizador" español en Chile, no son lugares climáticamente extraños a los trazadores como si lo puede ser Venezuela del Caribe, reflejado en el ejemplo de la figura 2.48.

Respecto del valor de las situaciones de emplazamiento, se muestran a continuación dos ejemplos de agrupamientos de viviendas de los pueblos de Chaco Canyon, en América del Norte.

Conjunto Mesa Verde: Se observa que frente a una forma topográfica, el conjunto se ordena obteniendo los beneficios climáticos que los esquemas muestran. Sombra en el verano y soleamiento y protección de los vientos fríos en el invierno.



Ejemplo de conjunto Mesa Verde.

Fig. 2.50 Izquierda, Fuente: Behling op. cit. 2002.

Fig. 2.51 Derecha, Fuente: http://www.nps.gov/meve/cliff_dwelling/cliff_palace_discovery.htm.



Detalles del comportamiento energético del Poblado de Mesa Verde

Fig. 2.52 Izquierda, Situación Energética de verano

Fig. 2.53 Derecha, Situación Energética de invierno

Fuente: Bustos Romero (2000), en Izard/Guyot (1980) y Revista Process (1978), modificado por el autor.

Conjunto Pueblo Bonito: En este otro ejemplo, el orden total complementa la forma topográfica existente a favor de una constitución segura, favorable social y climáticamente. La orientación de la forma conjunta en semicírculo, que se respalda en la forma topográfica posterior, facilita que la totalidad de viviendas tenga sol en algún momento del día, gracias también a su escalonamiento; y a la vez se proteja de los vientos fríos tanto ellas como los espacios públicos.

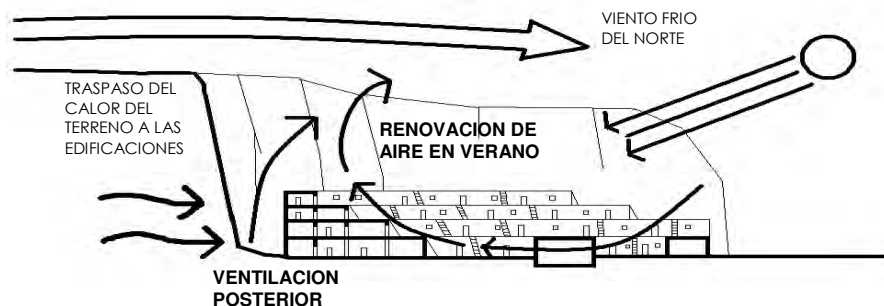


Fig. 2.54 Situación energética invierno y verano en Pueblo Bonito. Fuente: Bustos Romero, op. cit. 2000 (adaptado).

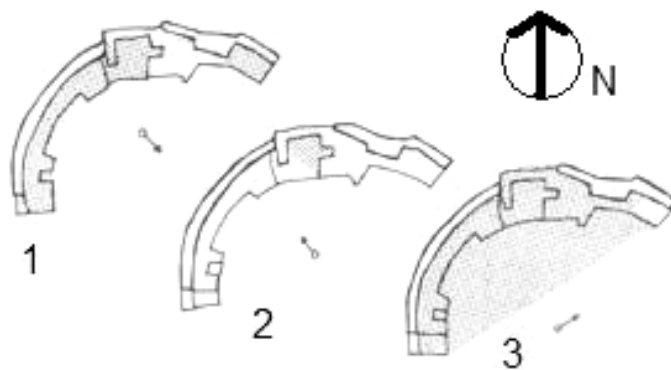


Fig. 2.55 Izquierda, Imagen aérea del conjunto de Pueblo Bonito. Fuente: Behling op. cit., 2002.

Fig. 2.56 Derecha, Esquemas de sombras en el conjunto. 1: Las sombras en el atardecer del solsticio de verano cubren todo el conjunto; 2: En el amanecer del solsticio de invierno, el soleamiento es en todo el conjunto; 3: En el ocaso del solsticio de invierno, la sombra cubre el espacio central al atardecer. Fuente: Bustos Romero, op. cit. 2000.

Como hace hincapié Bustos Romero (op. cit. 2000), la religión de los Pueblos enfatiza un universo armonioso. Con estos ejemplos ya es posible vislumbrar el origen del espacio público exterior urbano como un espacio compartido socialmente y con una alta valoración en su habitabilidad.

Las respuestas regionales de los casos de tejidos urbanos en los diferentes climas, son respuestas que buscan satisfacer necesidades biológicas del ser humano en su lugar. Estas respuestas comienzan a perder valor con los procesos de colonización de parte de los sistemas de agrupamiento y de trazado de los climas templados, sobre los de otras latitudes y climas.

Tratados y textos como *La Política*, de Aristóteles; *El aire, el agua y los lugares*, de Hipócrates; *Los Diez libros de Arquitectura*, de Vitruvio; *De Re Aedificatoria*, de Leon Battista Alberti; *Ordenanzas de Descubrimiento y Población*, de Felipe II, dictaron reglas para el diseño de la ciudad nueva, la que comenzaba de la nada, en los nuevos territorios "conquistados".

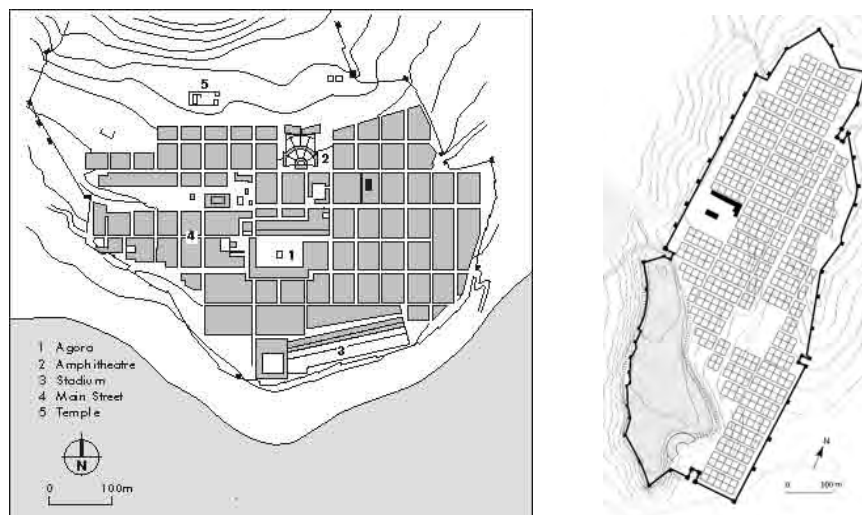
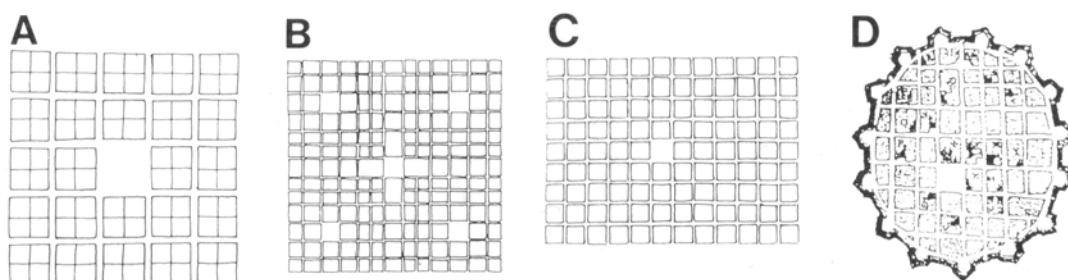


Fig. 2.57 Fig. 2.58 Plano de Pireo. Fuente: <http://web.clas.ufl.edu>, de la Universidad de La Florida
Arriba izquierda: Plano de Olinto. Fuente: *El Mundo De Los Antiguos Griegos*. J.Camp y E.Fisher. Blume, 2002.



Ejemplos de diversas ciudades fundadas siguiendo las leyes de Felipe II y algún patrón de ciudad ideal italiano.
Fig. 2.59: A, Concepción; B, Ciudad de Guatemala; C, Mendoza y D, Trujillo. Fuente: Morris op. cit. 1994, *History of Urban Form*.

Durante el renacimiento y el barroco, mucho más que en la época griega o romana, hubo proyectos de ciudades geoméricamente ideales, con formas de estrellas o polígonos, que tenían su origen más bien en el resguardo militar y de seguridad. Por otra parte, al interior de las ciudades, las plazas y las avenidas respondían a órdenes visuales de monumentalidad y perspectiva¹⁵.

¹⁵ Págs. 63- 70 ZARATE M., Antonio. *El espacio interior de la ciudad*. Editorial Síntesis. Madrid 1991.

Sólo después de la Revolución urbana que trajo la revolución Industrial, en que se produce aceleradamente la degradación del ambiente en las ciudades, nace la llamada planificación moderna. Se propusieron modelos nuevos de organización urbana: nuevas células que combinaban la presencia de lo rural y lo urbano, intentando superar las consecuencias del desarrollo industrial. Soluciones al interior de la ciudad y sus inmediatos crecimientos como los ensanches, aparecen como respuesta a la falta de espacios naturales cercanos o inmediatos a las viviendas. Ejemplo de ello es el del Eixample de Barcelona de I. Cerdá, que proyectaba espacios regulares al interior de las manzanas, poniendo atención en el aspecto higienista de la ciudad. Otros ejemplos son los del inglés Ebenezer Howard o del español Arturo Soria y Mata, que entregaban ideas de reformas que también acercaban lo rural a la ciudad (o la ciudad a lo rural), entendiendo que sus cualidades mejoraban la calidad de vida de los habitantes. Más tarde, en el siglo XX, *La Carta de Atenas (1941)*, propicia los espacios libres para facilitar el contacto con la naturaleza y las edificaciones de viviendas en altura. Pero las nuevas formas de la ciudad, que recuperaban los espacios abiertos determinando edificaciones en altura, propiciaron la descaracterización social del espacio de uso público en ella, generando una pobreza ambiental y social.

En el tiempo, la planificación urbana de la ciudad ha estado unida al poder del Estado, al que se le asocia una capacidad de control e intervención. Esto se puede verificar tanto en las ciudades coloniales en la época griega o romana, como en las ciudades de las fronteras en la época medieval, la expansión alemana hacia el este en el siglo XIII o en las ciudades coloniales españolas en América. También es visible ese orden deseado en algunas ciudades del antiguo Egipto o las antiguas ciudades chinas y de la América Precolombina.

Finalmente, en el desarrollo y crecimiento de las ciudades actuales, en el "estilo internacional", la valoración monetaria del suelo, ha alejado los trazados de las condiciones climáticas del medio natural, con las consecuentes alteraciones de los ciclos atmosféricos, hidrológicos y energéticos. En el presente, la construcción masiva de la ciudad, de sus tipologías de tejidos y zonificaciones, edificios y de elementos constructivos originalmente desarrollados para ciertos climas occidentales, se extiende en el mundo entero. Rueda esclarece que han sido los tratadistas alemanes quienes introdujeron la zonificación en la planificación de la ciudad ya en la segunda mitad del siglo XIX, pero deja en claro también, que los funcionalistas y el CIAM, y pone como representante a Le Corbusier, fueron quienes lo usaron con éxito en la estructuración de la ciudad moderna en sus principios de orden y funcionalidad.

Olgay (1998) indica, acertadamente, que los patrones tipológicos occidentales han desatendido con demasiada frecuencia las características climáticas del lugar de emplazamiento. Esta indiferencia climática es consecuencia del poco valor dado al confort climático humano y a la eficiencia energética de la ciudad y sus edificaciones.

2.2 ANTECEDENTES TEORICOS PARTICULARES

2.2.1 CLIMA URBANO

El cálculo de la forma y de la medida del espacio diseñado están dados por directrices de emplazamiento, de proporciones, de orientación de vistas, de funcionalidad, etc. Entendemos también que el cálculo de la condición climática del espacio es una de ellas. Así, los elementos edificados que determinan una forma espacial, condicionan un comportamiento térmico, lumínico y acústico que puede o no estar dentro de los márgenes de confort climático de los habitantes del espacio definido. Para ello estudiaremos la forma edificada y sus materiales y de que manera estos determinan el suceso climático y la habitabilidad del espacio urbano.

En este capítulo se hará una revisión del estado del conocimiento que relaciona microclima urbano y conformación geométrica. Primero se definen las características generales del clima urbano y su influencia en la atmósfera. Luego la influencia de la geometría y materiales que dan forma al espacio urbano, en las distintas variables o estados atmosféricos del clima (temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección de viento y radiación).

2.2.1.1 CLIMA URBANO Y ESCALAS CLIMATICAS

En general, en cuanto a las condicionantes que permiten diferenciar el clima urbano del resto de los tipos de clima de la tierra, es posible definir en él, características propias de su atmósfera (Manley, 1974; Landsberg, 1981; Oke 1987; Bornstein, 1987; Garrat, 1992; Feigenwinter, 1999):

- En el periodo nocturno, el medioambiente urbano está más caliente que el de su alrededor. Esto se conoce normalmente como Isla de Calor (Kobayashi y Takemura, 1994; Moreno-Garcia, 1994; Roth y Oke, 1994; Hiyama, 1995; Kidder y Essenwanger, 1995; Oke 1995; Tuller, 1995; Goldreich, 1995).

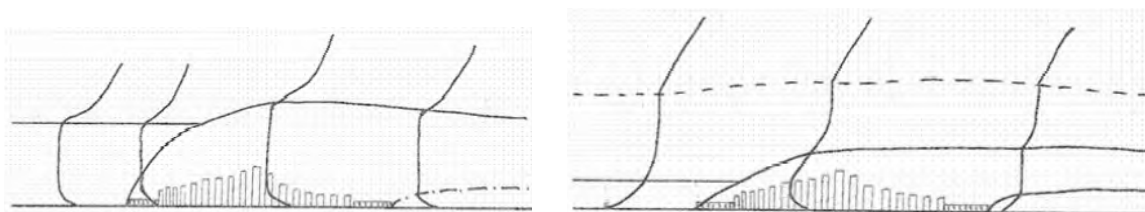


Fig. 2.60 (a, b) Perfiles esquemáticos de la estructura vertical de la atmósfera indicando perfiles típicos de la variación de la temperatura en el Urban Boundary Layer en el día (a, izquierda) y en la noche (b, derecha).
Fuente: FUMAPEX. http://fumapex.dmi.dk/Index/index_docu.html.

- Es una zona con una alta y diversa rugosidad superficial. Por esta razón, el movimiento del aire en el espacio urbano es más lento que en las zonas rurales. Esto hace aumentar los flujos de calor por convección, debido también al calor latente reducido.
Por su forma, en la ciudad, se produce un aumento de la absorción de la radiación solar debido a la existencia de los llamados Cañones urbanos. Es decir, a partir de la forma geométrica de la calle y la manzana (Leach, et. al. 2001) produciéndose una disminución de la radiación de onda larga por parte de la ciudad. Esto asociado también a los altos niveles de polución.
- Los niveles de evaporación son generalmente menores que en las zonas rurales circundantes debido a que gran parte su superficie se encuentra sellada por el tipo de material que la cubre.
Debido a las propiedades de los materiales de los edificios, hay una gran cantidad de energía almacenada (Leach, et. al.; op. cit. 2001; Sakakibara, 1996).

La estructura urbana está conformada por un sistema espacial complejo de superficies verticales y horizontales en variedad de forma y de alturas. Es un sistema que absorbe más calor en el día y libera más en la noche que una superficie horizontal.

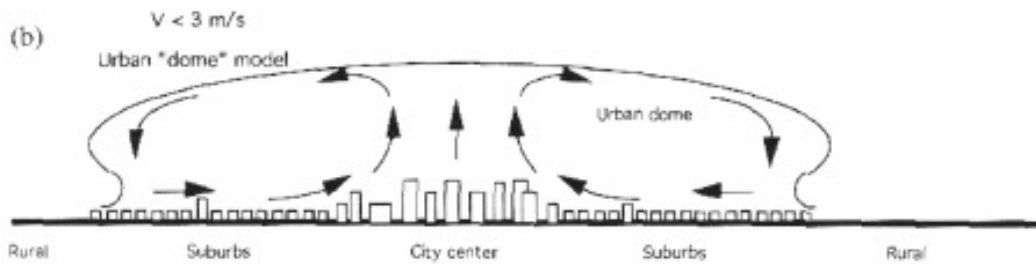


Fig. 2.61 Esquema de la forma espacial de la estructura básica del clima urbano, su incidencia en la atmósfera y su presencia mesoescalar (después de Z. Janour). Fuente: Reporte Final COST Action 715, www.atmos-chem-phys.org/acpd/5/7903/

Para acercarnos al fenómeno del clima urbano debemos comprender los procesos físicos que controlan los flujos de energía y de agua y una caracterización de la morfología urbana y materiales urbanos con respecto a las propiedades aerodinámicas, radiativas y de transferencia de calor (Terjung y O'Rourke 1980, Arnfield 2000, Masson 2000, Grimmond y Oke 2002, Martilli 2002, Best 2005, Oleson, et. al. , 2007); como también los intercambios energéticos entre los espacios interiores construidos y el exterior que se producen a través de fachadas, techumbres y los elementos construidos que determinan sus formas. Sean envolventes de espacios, superficies, pavimentos, elementos individuales o vegetación, la comprensión de su rol es fundamental (Arnfield, 1990; Nikolopoulou et. al. 2001; Bourbia y Awbi, 2004).

Diversos estudios y campañas, especialmente en la última década, han determinado el suceso climático de la ciudad a partir de una estructura que relaciona diferentes escalas climáticas como forma de modelar su comportamiento (Basilea BASTA 1993-1994; Ozone Field Study, Phoenix 1998; Basilea 2001-02; Marsella ESCOMPTE/CLU 2002-2004; Oklahoma: Joint Urban 2003; London DAPPLE 2003-2004; BUBBLE – COST 715, 2005; México: IMADA-AVER Boundary Layer Experiment, Mirage, 2006).

Estos estudios y otros, han determinado que las ciudades modifican localmente el clima, al alterar los flujos naturales de energía a través de su propia construcción y de las actividades de sus habitantes (Arnfield, 2003). Si bien, el estudio del clima urbano está, inicialmente, ligado con la comprensión del fenómeno Isla de calor, es el comportamiento climático de la microescala el que incide directamente en este suceso climático mayor, debido a los intercambios de masa y energía entre la superficie y la masa de aire de la atmósfera (Barry y Chorley 1978, Landsberg, op. cit. 1981, Oke op. cit. 1987/1991, Escourrou 1991). Este comportamiento particular de la atmósfera en torno de la ciudad se comprende inmerso en un sistema climático mayor.

En 1975, el Programa Global de Investigación Atmosférica de la Organización Meteorológica Mundial (GARP, 1975) define el sistema climático del planeta como un sistema compuesto por la Atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la superficie de la tierra y la biosfera. En este sistema, la ciudad, su forma y materiales, son determinantes en la interfase suelo/atmósfera, en la forma variable del suelo y en los procesos físicos que en el suceden.

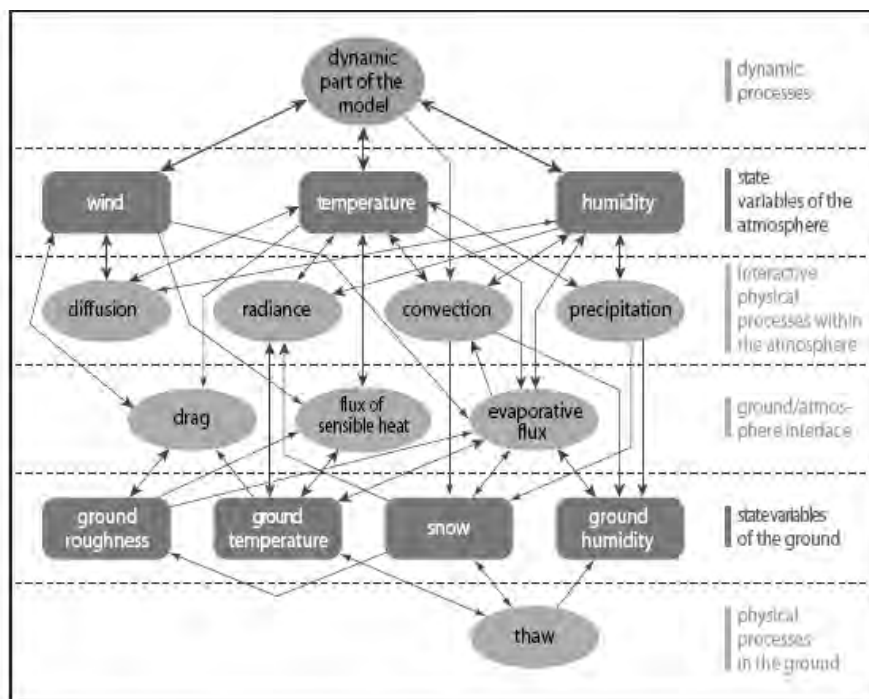


Fig. 2.62 Diagrama conceptual de los procesos físicos considerados en los modelos de predicción numérica del tiempo y las relaciones entre ellos. Fuente: (CEPMMT) Coiffier, 2000. <http://www.smf.asso.fr/Ressources/Coiffier30.pdf>

La evolución de las variables de la superficie depende directamente de la energía recibida de radiación solar, que a su vez depende de la hora y de la nubosidad (Coiffier, 2000). Por este motivo es muy significativo determinar los efectos de las interacciones entre la radiación y los componentes de la atmósfera. Esto es considerar los efectos por la absorción, la difusión y la reemisión de la radiación. Aquí la presencia de agua cobra mayor significancia, debido a que condiciona la existencia de nubosidad y a la vez define inestabilidad vertical de la atmósfera debido a la convección (Rodgers y Walshaw, 1966; Katayama, 1974; Coiffier, op. cit. 2000).

Existe una parte de la atmósfera que está influenciada directamente por la presencia de la superficie de la tierra y responde a los fenómenos de forzamiento de la misma en escalas temporales de horas o inferiores (Stull, 1988). En ella se producen ciclos diarios de temperatura, humedad, vientos y niveles de contaminación. Estas variaciones ocurren sólo en la Atmospheric Boundary Layer (ABL), el resto de la atmósfera no percibe estos cambios (Jorba, 2005).

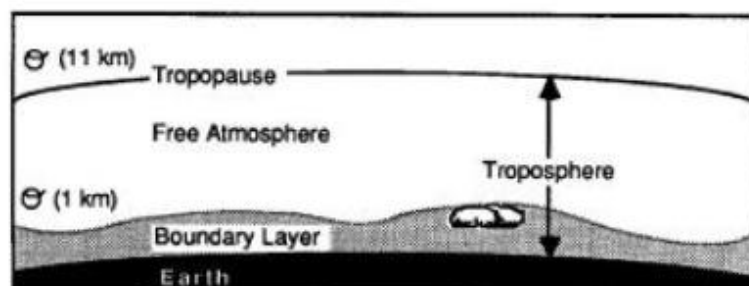


Fig. 2.63 Esquema de la Troposfera, incluyendo la Boundary Layer. Fuente: Stull, 1988.

La zona de la atmósfera que va desde el nivel del suelo hasta 11.000 m. de altura, se caracteriza por contener el 80% de toda la masa de gases de la atmósfera y el 99% de todo el vapor de agua. En ella, la velocidad de los vientos crece con la altura y la temperatura desciende con la altitud a razón de 5 y 6 °C/km. La llamada Tropopausa

define el término de esta zona llamada troposfera (Strahler, 2005). También en esta capa se producen intercambios de masa, de gases y de partículas como CO₂ entre los seres vivos y la atmósfera, el material particulado de la ciudad, las sales marinas, etc., que inciden directamente en la calidad del aire que en esta capa existe.

A partir de intercambios turbulentos es que la atmósfera recibe del suelo la mayor parte de calor pero esencialmente todo el vapor de agua. Y en turbulencias a pequeña escala, se disipa continuamente la energía cinética de la atmósfera. Si a esto sumamos la gran resistencia que hace la forma de la superficie de la tierra (urbana y no urbana) al movimiento del aire, la modelización matemática del comportamiento de esta capa es extremadamente compleja (Castro, 1991).

Buenestado Caballero (2003) define que esta capa está en continuo movimiento turbulento causando un eficiente intercambio de calor sensible y de calor latente, de momento y de masa entre la superficie terrestre y la atmósfera, y, por tanto, moderando el microclima próximo al suelo y que los procesos de intercambio turbulento en la capa fronteriza atmosférica influyen en la evolución del tiempo atmosférico local. Estos flujos son muy irregulares, tendientes a ser aleatorios, altamente rotacionales, altamente variable en el tiempo y en el espacio, con movimientos muy difusos. Por tanto son de difícil pronóstico o cálculo y se estudian y tratan sus propiedades estadísticas medias (Buenestado Caballero, op. cit. 2003).

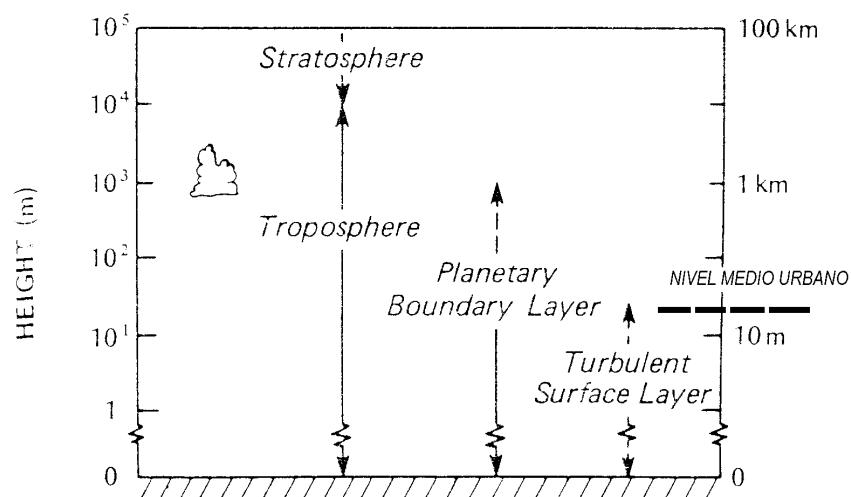


Fig. 2.64 Estructura vertical de la atmósfera. Fuente: Oke, 1978 (modificada después de Tennekes, 1974). Se indica la altura media de la ciudad.

En esta porción de la atmósfera podemos diferenciar un gran espacio contenido, con características climáticas influidas por la existencia de la ciudad, definido como Urban Boundary Layer (UBL) (Oke, op. cit., 1978; Sorbjan, 1978; Uliasz y Sorbjan, 1982). Esta porción se extendería hasta aquella altura en que los fenómenos mesoescalares están gobernados por la naturaleza de la superficie urbana.

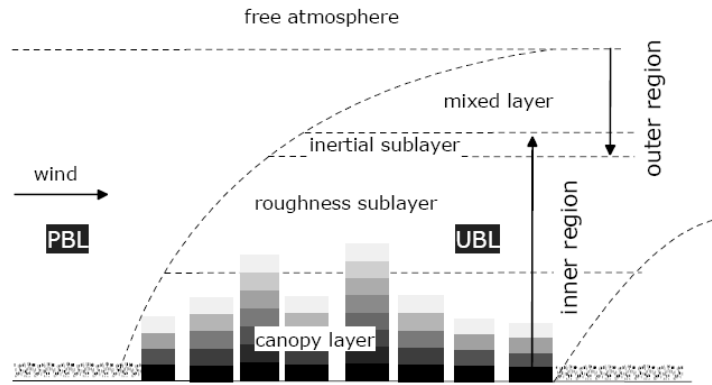


Fig. 2.65 Esquema de la estructura vertical idealizada del Urban Boundary Layer (modificada después Oke 1988). Se indican su relación con la Atmósfera libre dentro de la Troposfera.

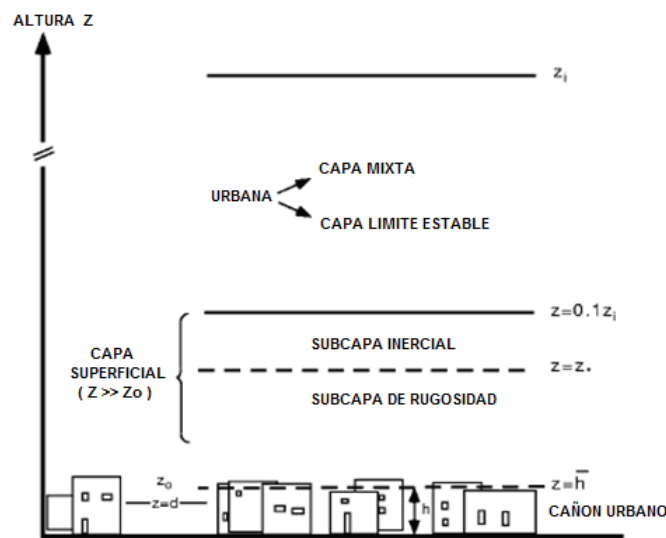


Fig. 2.66 Esquema de las distintas capas que conforman el UBL. (Urban Boundary Layer). Fuente: B. Fisher, et. al., 2006.

Dentro del Urban Boundary Layer, cuando estamos en el espacio construido (espacio urbano, ciudad), estamos en lo que se llama Nivel Canopy Urbano (Urban Canopy Layer, UCL o UC). Este corresponde a la zona de la atmósfera definida entre los edificios (calles, plazas, patios interiores, etc.). Dentro de ella existe el denominado Cañón Urbano que se refiere a su unidad principal. Corresponde al volumen de aire entre dos edificios adyacentes y que incluye el suelo, que normalmente es la calle (Moreno 1997). Corresponde al espacio público y social de la ciudad por definición. Aquí se centra nuestra investigación.

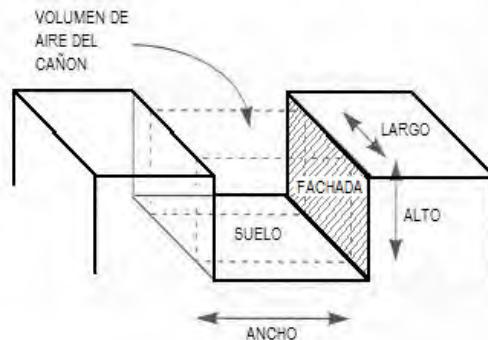


Fig. 2.67 Corte esquemático del cañón urbano característico indicando el volumen de aire contenido en su interior. Fuente: Santamouris, M, 2001 (adaptado).

Físicamente el cañón urbano está constituida por una gran variedad de elementos "urbanos", como zonas de vegetación, jardines y césped, espacios abiertos de baja o nula humedad, espacios con suelos de pavimentos impermeables, una gran variedad de formas volumétricas edificadas que varían también en su materialidad, con diferentes características de absorción de energía y de humedad. Como consecuencia de esta gran variedad se suceden intercambios energéticos y de humedad en esta pequeña escala (Oke, 1979; Arnfield, 1984; Doll, 1985; Paterson y Apelt; 1989; Grimmond, 1996; Kjelgren y Montague, 1998).



Fig. 2. 68 (a, b, c) Ejemplos de variedad morfológica en la ciudad de Tokio: a, Izquierda, Imagen general de la ciudad desde el aire; b, Centro, Imagen de una zona de alta densidad de la ciudad; c, Derecha, perfil del centro urbano (derecha). Fuente: <http://www.nda.ac.jp/cc/users/hiros/frmSky.html>.



Es en los centros urbanos donde, debido al precio del suelo, las edificaciones se hacen más altas y las calles más estrechas, favoreciendo una mayor diferenciación entre el nivel de suelo y los distintos niveles de techumbre, haciendo muy variada la rugosidad del perfil urbano. Este perfil altamente variable se hace más homogéneo a medida que nos alejamos de los centros urbanos y nos acercamos a la periferia, donde las alturas edificadas son menores¹⁶.

Fig. 2.69 Ejemplo de variedad morfológica: Sao Paulo (Brasil). Fuente: <http://www.diserio.com/top15-skylines.html>.

El comportamiento del clima a nivel de suelo está dominado por la influencia de la microescala (Nunez y Oke, 1977; Nakamura y Oke, 1988). Esta observada influencia, en el comportamiento climático de la ciudad y viceversa, junto con lo complejo de las interacciones entre la superficie de la tierra y la micro y macro atmósfera, han incitado a la investigación a la correlación de modelos que se aplican a distintas escalas climáticas y a desarrollar modelos integrados que relacionan características formales del espacio y tiempo en que se desarrolla un suceso climático con similar característica (Grimmond y Oke, op. cit. 2002; Rotach, et. al. 2004; Piringer, 2005).

¹⁶ En la actualidad la altura de los edificios en la ciudad alcanzan en algunos casos más de 500 m. Existe además una gran cantidad de edificios altos en los centro de muchas ciudades. Es el caso de ciudades como Chicago (edificio Chicago Spire, 610 m. de altura) con una cantidad de 330 edificios de más de 90 m. de altura, Shanghai (edificio Shanghai World Financial Center, 492 m. de altura), con una cantidad de más de 580 edificios de más de 90 m. de altura, Dubai (edificio Burj Dubai, 808 m. de altura), con más de 320 edificios de más de 90 m. de altura, Nueva York (edificio Freedom Tower, 541 m. de altura) con más de 850 edificios de más de 90 m. de altura, Hong Kong (edificio Internacional Commerce Centre, 484 m. de altura) con más de 3050 edificios de más de 90 m. de altura, Sao Paulo con más de 290 edificios de más de 90 m. de altura. Santiago de Chile sigue la misma tendencia con más de 40 edificios de más de 90 m. de altura. La información estadística se puede encontrar detallada en <http://www.diserio.com/top15-skylines.html>

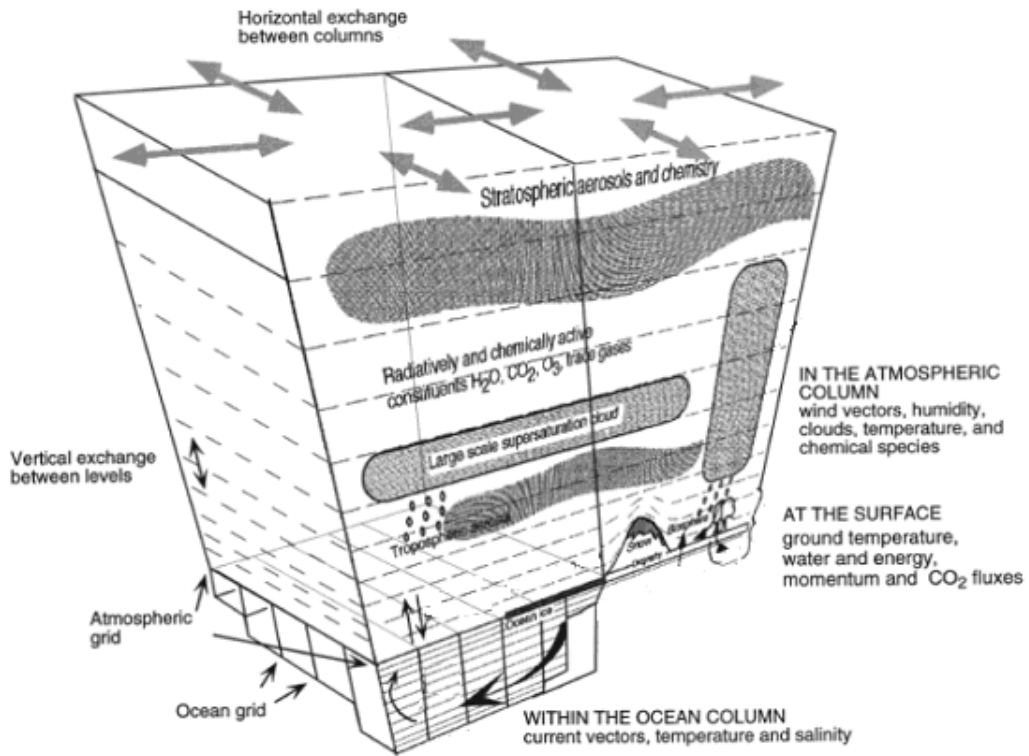


Fig. 2.70 Modelo esquemático de la estructura del clima global.
 Fuente: <http://www.few.vu.nl/~sbhulai/theses/werkstuk-wijnands.pdf>. Fuente: Vrije Universiteit Ámsterdam (modificado).

Los distintos modelos climáticos (matemáticos) predictivos del comportamiento climático en cada escala, consideran resoluciones verticales y horizontales (dominio), con un mayor grado de resolución a medida que la escala es espaciotemporalmente más pequeña o local. Estos modelos microescalares y microclimáticos intentan definir el comportamiento del aire, considerando que a medida que nos acercamos a la superficie terrestre, los procesos son más turbulentos, en menor espacio y de menor tiempo de duración, lo que genera modelos más complejos que hoy en día aún están en definición.

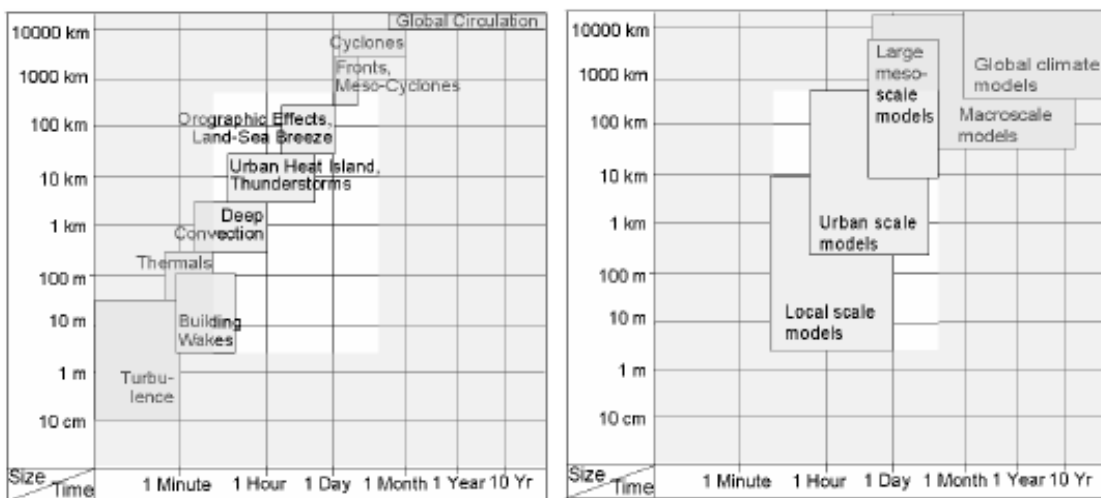


Fig. 2.71 Izquierda. Relación tiempo y escala horizontal de fenómenos atmosféricos comunes.
 Fig. 2.72 Derecha. Relación tiempo y escala de diversos modelos atmosféricos.
 Actualmente los modelos de los fenómenos meteorológicos de la calle están en definición.
 Fuente: SATURN. Moussiopoulos, 2003.

	time	climatological scale	planetary and synoptical scales	meso-scale	microscale		
length	L \ T	1 month		1 day	1 hour	1 minute	1 sec.
macro α scale	10 000 km	standing waves	ultra-long waves	tidal waves			
macro β scale			baroclinic waves				
meso α scale	2 000 km			fronts hurricanes			
meso β scale	200 km				nocturnal low-level jets squall lines inertial waves cloud clusters mtn. & lake disturb.		
meso γ scale	20 km				thunderstorms internal gravity waves clear-sky turbulences urban effects		
micro α scale	2 km					tornadoes deep convection short gravity waves	
micro β scale	200 m					dust devils thermal wakes	
micro γ scale	20 m						plumes roughness turbulence

Fig. 2.73 Orlanski (1975) clasifica el suceso climático respecto de su escala temporal y espacial. En la figura se observa como en la escala microclimática los sucesos turbulentos son de una duración de segundos y de un tamaño de influencia no mayor de 20 metros, correspondiendo a la dimensión de un espacio de calle.
Fuente: <http://www.smf.asso.fr/Ressources/Coiffier30.pdf>

Yoshino (1975) define cuatro escalas climáticas en relación al dominio y duración del fenómeno meteorológico.

CLIMA	EXTENSIÓN HORIZONTAL	EXTENSIÓN VERTICAL	CLIMA REPRESENTATIVO	DURACIÓN DE LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS
Microclima	10^2 - 10^2 m	10^2 -10 m	Clima de un invernadero	hasta 10 segundos
Clima Local	10^2 - 10^4 m	10 - 10^3 m	Clima de una ladera	10 seg-2,5 horas
Mesoclima	10^3 - $(2 \cdot 10^5)$ m	10 - $(6 \cdot 10^3)$ m	Clima de una cuenca	2,5 horas-1 día
Macroclima	$(2 \cdot 10^5)$ - $(5 \cdot 10^7)$ m	10 - 10^5 m	Zona o dominio climática	1 día-11 días

Tabla 2.3 Dimensiones espaciales y temporales de los fenómenos climáticos. Fuente: Yoshino, M. 1975.

Fisher (et. al. op. cit., 2006) da forma a la influencia microclimáticas en el comportamiento climático global de la ciudad definiendo tres escalas climáticas como se observa en el siguiente esquema:

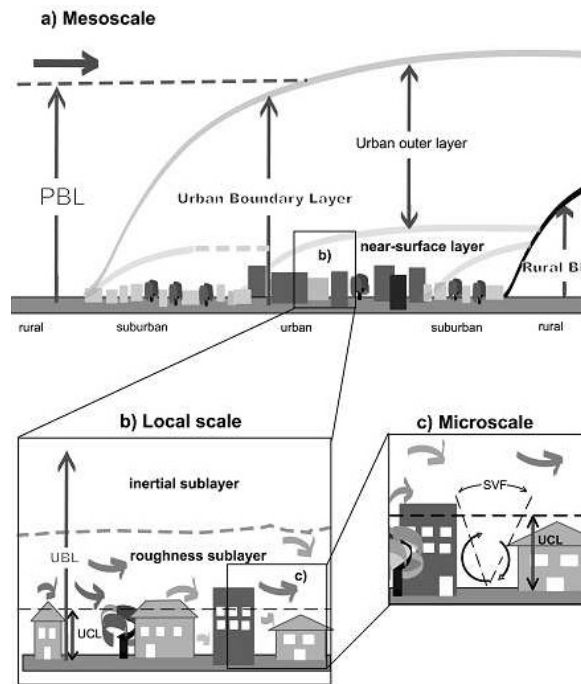


Fig. 2.74 Esquema de la interrelación entre la mesoescala, la escala local y la microescala. Fuente: Rotach et. al. 2004 modificado después de Oke 1987.

En estos esquemas de dominio y gráficos climático-urbanos se indica la interrelación entre la mesoescala, la escala local y la microescala. Se indican el contexto mayor en el que se encuentran (Planetary Boundary Layer, PBL o ABL). Se muestra también el Urban boundary layer (UBL) y lo inestable de su condición climática (flechas esquemáticas). Se muestra también el Urban Canopy Layer. Aquí se distingue el valor climático de la visibilidad del cielo (SVF: sky view factor) expresado como un factor de cielo visible.

Este variado comportamiento del clima de la ciudad diferencia escalas tanto horizontal como verticalmente (Oke 1984, 2006). Distinguimos:

1

La Meso escala, se refiere a una escala del contexto de toda la ciudad, con todos los accidentes y conformaciones topográficas y morfológicas que a ella le dan forma. Es una escala en que una estación meteorológica no es capaz de cubrir toda la zona (Oke, op. cit. 2006). La Escala está referida a un tamaño de 10 a 20 kms. y que considera el margen de borde del espacio construido (urbano). Esta escala, contextual, permite una comprensión completa de la estructura urbana y fenómenos como el de isla de calor, pero no para evaluar el suceso climático a nivel del peatón ni tampoco la actividad de la ciudad en particular. No están presentes los fenómenos específicos causados por la rugosidad de las edificaciones ni de la vegetación alta, por tanto no consideran los flujos de vientos locales, la temperatura del suelo o la humedad del aire a nivel de calle, etc., por la resolución de su grilla (dominio) y la temporalidad utilizada¹⁷.

2

La Escala Local, que presenta unas escalas típicas de pocos kilómetros. En el espacio urbano corresponde a relacionar el clima de varias vecindades con similares forma y desarrollo urbano, incluyendo características topográficas y del paisaje (Oke, op. cit. 2006). Esta Escala de Tejido homogéneo o Escala Local, está referida a un tamaño que va

¹⁷ Ejemplo de modelos en mesoescala son LM (Lokal Model) desarrollado por el Servicio Meteorológico Alemán (DWD); el FVM (Finite Volume Model) del Air and Soil Pollution Laboratory del Instituto Tecnológico Federal Suizo de Lausanne; el MM5 (Otte y Lacser, 2001; Lacser y Otte, 2002; Dupont, Ching y Burian, 2004); MUST (Yee y Biltoft, 2003); Kit FOX (Hanna y Chang, 2001); COAMPS (Holt, 2002), HOTMAC (Yamada Science and Art Co., Brown y Williams, 1998), RAMS (Rozoff 2003).

en torno de los 1000 a 2000 m. (1 ó 2 Km.)¹⁸. Estos modelos de clima zonal consideran parámetros geométricos de la escala y que se refieren a promedios de las características particulares del tejido urbano. Esta escala de modelo determina entre otros fenómenos flujos verticales de movimiento del aire y comportamientos zonales de radiación, temperatura y humedad.

3

La Micro escala, que se refiere a la escala de vecindad inmediata. Esta Escala de Calle o Micro Escala se desarrolla en el espacio que se denomina UCL (Urban Canopy Layer). El tamaño del sector considerado está entre 100 y 200 m. medido horizontalmente. Esto es a nivel de calles, patios, plazas y jardines y con los edificios circundantes. La temperatura del aire pueden variar en varios grados en distancias muy cortas y la circulación del aire se puede perturbar grandemente incluso por los objetos pequeños. El conocimiento de su comportamiento puede utilizarse para determinar tendencias del clima en escalas más grandes que sean uniformes (Oke, op. cit. 2006).

Los Urban Canopy Models están basados en parámetros radiativos, energéticos e intercambios turbulentos entre la atmósfera y el urban Canopy. En general utilizan una geometría simplificada del cañón urbano, las radiaciones añadidas al interior del cañón, intercambios de calor, clima promedio en el espacio al interior del cañón, agua y nieve en calles y azoteas y calor y humedad de origen antropogénico. En general permiten simular el movimiento del aire a nivel de calle y los intercambios de energía entre los distintos elementos constituyentes del espacio urbano y el aire de la atmósfera del cañón¹⁹.

Estudios y campañas desarrollados en la última década, han dado mayor precisión al suceso del clima de la microescala de la ciudad, a partir de la complementación de modelos que relacionan dominios y escalas urbanas. Esto se aprecia en los siguientes ejemplos²⁰:

1 Integración de los Modelos LM, FVM y URBENT

En el marco del programa Acción COST 715 de la Unión Europea se relacionan LM: Lokal Model; FVM: Finite Volume Model; Bubble (Basel Urban Boundary Layer Experiment) y URBVENT.

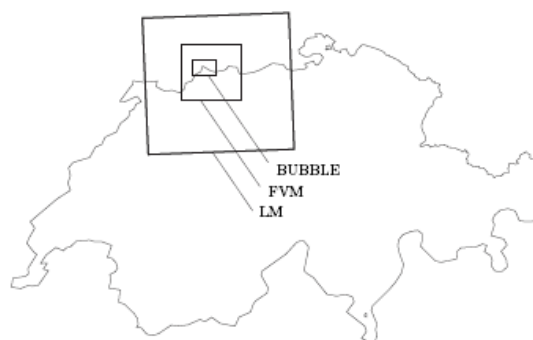


Fig. 2.75 Dominios definidos para el estudio climático de la ciudad de Basilea, Suiza. Fuente: Germano, 2006.

¹⁸ Ejemplo de modelos en esta escalas son Bubble Tracer; MM5 en su versión DA-SM2-U; RAMS; LM ; el FVM (Finite Volume Model) de grilla (dominio) horizontal de 1 a 5 km. y vertical de 10 m. cerca del suelo (Germano, 2006), LIDAR, University of Houston.

¹⁹ Ejemplo de modelos usados en esta escala son los CFD; ENVI; UCM Urban Canopy Model, TEB, DA-SM2-U (del modelo MM5).

²⁰ Otros estudios utilizan modelos como WRF/Noah/Urban Model Multiescalar (WRF: Weather Research and Forecasting Model, 2006); Local Circulation Model LCM2D (Kimura y Manins 1988; Kimura y Kuwagata 1993, 1995; Lee y Kimura 2001), Urban Canopy Layer Climate Model (Mills op. cit. 1997), Single-Layer Urban Canopy Model (Kusaka y Kimura, 2004), Hotmac (Yamada 2004), RAMS (Colorado State University) y SUMM, (Kanda et. al., 2005).

2 Integración de los Modelo MM5 y DA-SM2-U

Escalas de dominio desarrolladas para la ciudad de Houston en el estudio realizado en la zona del golfo de México.

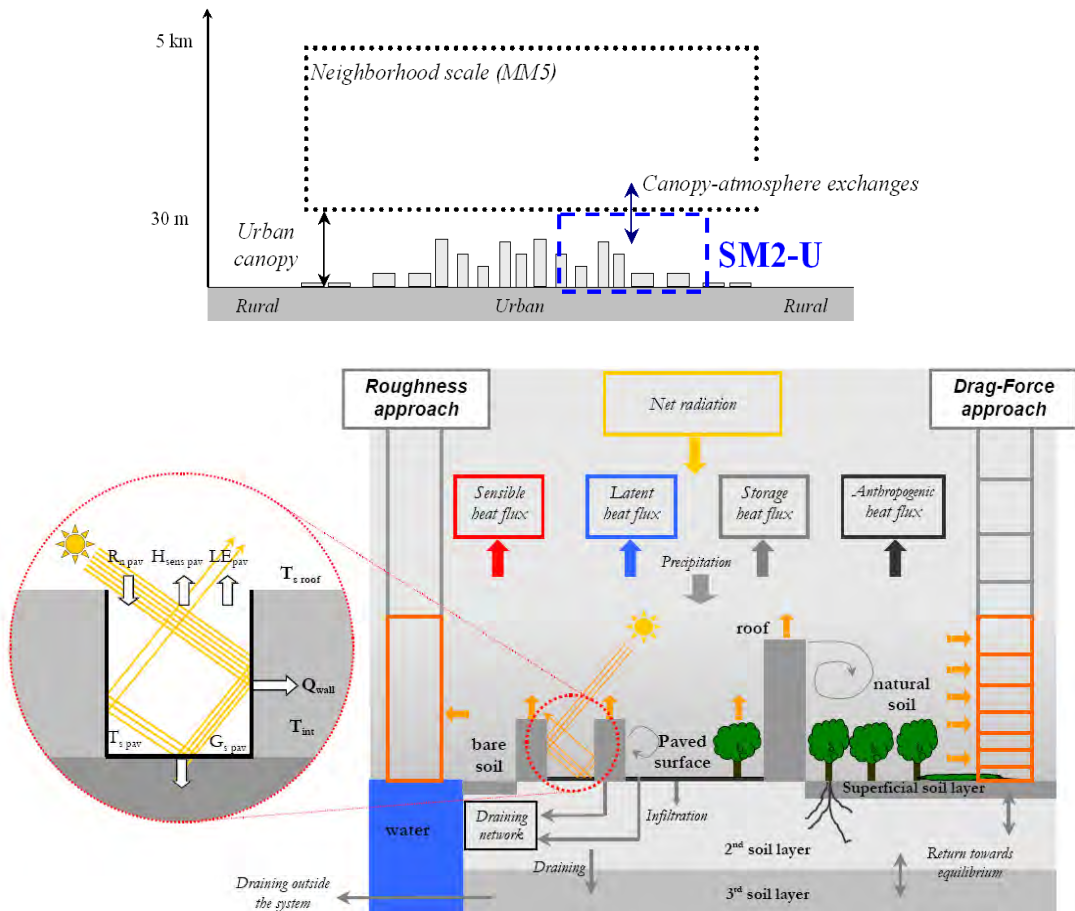


Fig. 2.76 Gráfica esquemática del modelo MM5 y la versión DA-SM2-U (Soil Model for Sub-meso scales). Fuente: Dupont et. al. 2004.

2.2.1.2. PALABRAS FINALES

Los valores de los parámetros climáticos que se miden en una estación meteorológica son más bien globales y representativos de una zona (generalmente extraurbana), y normalmente no corresponde al ámbito de cada sitio en la ciudad o zona considerada. Ochoa (1999), respecto del microclima dice que "no se pueden deducir directamente de estos resúmenes climatológicos ya que las condiciones del clima en el estrato de aire más próximo a la superficie, están influidas por diversos factores que cambian rápidamente", tal como se expuso en este capítulo.

Los modelos mencionados aquí definen físicamente el comportamiento climático del aire en diferentes escalas espaciales. Sin embargo, el lenguaje que utilizan los aleja de la comprensión de arquitectos y urbanistas. La búsqueda de un modelo de clima en un lenguaje adecuado a diseñadores debe comprender los elementos propios de la conformación de un espacio. Esto es geometría, elementos morfológicos del lugar y las características del emplazamiento. De igual forma, las actividades antrópicas que se desarrollan en él.

Las conferencias internacionales (PLEA, ICUC, AMS, etc.) ratifican la puesta en valor de las investigaciones actuales en Clima y Microclima Urbanos, como así también los artículos en diversas revistas científicas sobre Arquitectura, Energía y Salud, Meteorología y Clima.

A continuación se hará una revisión bibliográfica respecto de la forma edificada de la ciudad y el comportamiento de las variables climáticas de temperatura del aire, humedad del aire, viento y radiación.

2.2.2 FORMA EDIFICADA Y TEMPERATURA DEL AIRE

Incidencia de la forma edificada en el comportamiento la temperatura del aire

El ecosistema urbano puede alterar significativamente la radiación, temperatura, humedad y características aerodinámicas de un lugar y en mayor medida en los centros urbanos, que están sujetos a condiciones climáticas significativamente distintas al estado del clima pre-urbano (McKendry, 2003). Uno de estos cambios de estado climáticos se refiere al cambio de temperatura del aire en la ciudad²¹. El incremento de la urbanización ha dado origen a un aumento de las temperaturas urbanas, lo que tiene implicancias para la salud y el bienestar humano (Jáuregui 2005).

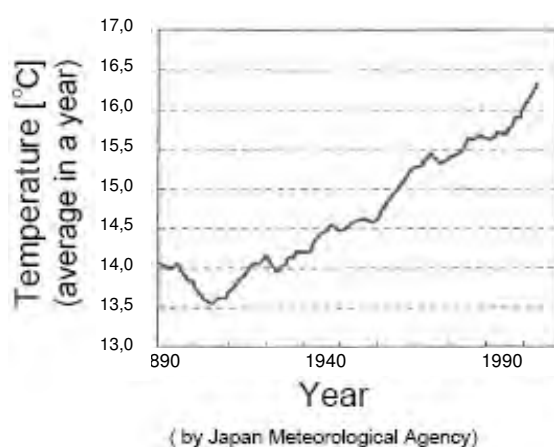


Fig. 2.77 Variación de la temperatura del aire en Tokio, durante 100 años. Fuente: Ryoza Ooka. Institute of Industrial Science, The University of Tokyo. http://www.iea.org/dbtw-wpd/Textbase/work/2006/heat/4-b_ooka.pdf

Este fenómeno se repite en las áreas urbanizadas, como consecuencia del cambio en el balance de calor (energía) (Santamouris, op. cit. 2001). La temperatura en las zonas altas en densidad edificada es mayor que en los alrededores construidos y que en las zonas rurales. Sobre la temperatura influyen la humedad superficial, el albedo y la radiación (Pérez, García y Guerra, 2003).

Este fenómeno ha potenciado lo que se conoce como Isla de Calor ya mencionado. Ya en 1833 Howard, declaraba la existencia de esta diferenciación en la ciudad de Londres (Howard, 1883). Debido a este calentamiento, la humedad relativa del aire declina mientras que la frecuencia de los aguaceros intensos aumenta significativamente (Jáuregui, 2004).

CIUDAD	INCREMENTO DE TEMPERATURA (°C)
30 Ciudades de Estados Unidos	1,1
Nueva York	2,9
Moscu	3 - 3,5
Tokyo	3,0
Shanghai	6,5

Tabla 2.4 Se muestran diferentes ciudades y los efectos, en °C, de la Isla de calor en cada una de ellas, respecto de las zonas rurales. Fuente IPCC, Grupo de trabajo 2, 1990.

²¹ Todavía la temperatura superficial es usada generalmente como indicador del cambio climático global. Barros y Camilloni, 1994.

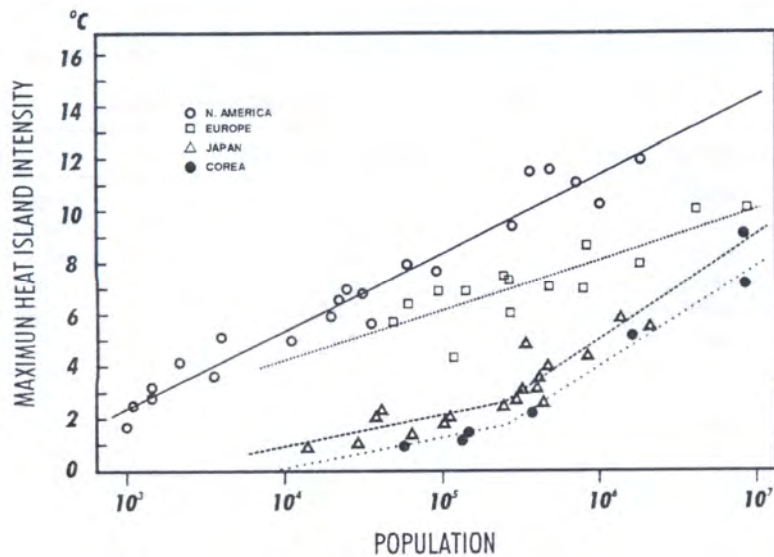


Fig. 2.78 Gráfico de la máxima diferencia entre temperaturas urbana y rural en ciudades europeas, de Estados Unidos y de Korea y Japón, considerando diversas densidades de población. Fuente: Jáuregui 1986, Park, 1987, en Santamouris op. cit. 2001.

Debido al creciente incremento de la población urbana en el mundo, estos efectos del actuar del hombre sobre el clima son cada vez más crecientes. Y está en magnitudes similares o mayores a las predichas como resultado del llamado “efecto invernadero” (Mckendry, op. cit. 2003). Respecto de ello, Oke (1993, en Jáuregui op. cit. 2004) estima que la ciudades, con solo cubrir el 0.25% de la superficie de ocupación, contribuyen con el 85% del total de gases de invernadero (CO_2 , O_3 y clorofluorocarburos).

Los efectos negativos revertidos sobre la población se ven reflejados en los resultados extremos del aumento de temperatura y las ondas de calor sobre ciudades de Europa y Estados Unidos (Davis et. al., 2004), que ha significado el aumento de consumos de energía en refrigeración y en algunos casos, mortalidad en la población. En el caso de la ciudad de Atenas, Santamouris (1996) determina que los grados hora de ventilación utilizados en el centro de la ciudad, de baja vegetación, alta densidad edificada y altas emisiones de calor antropogénico, son de un 350% mayor que en las áreas suburbanas.

En el último tiempo se han desarrollado estudios empíricos de la isla de calor en diversas ciudades. Ejemplo de esto son los estudios en Portland y Houston (Hart y Sailor, 2007); San Juan, Puerto Rico (Murphy et. al. , 2007); Beer Sheva, Israel (Potchter et. al., 2006); Tokio (Ooka et. al., 2004); Oklahoma (Brown et. al., 2004); Salamanca, España (Alonso García et. al., 2004); Basel (Rigo y Parlow, 2003); Mendoza, Argentina (Mesa y Polimeni, 2003); Barrow, Alaska (Hinkel et. al., 2003); Pune, India (Deosthali, 2000); Ciudad de Mexico (Jauregui y Luyando, 1998); Minnesota (Todhunter, 1996); Barcelona (Matín Vide y Moreno, 1990); Toledo, Ohio (Schmidlin, 1989).

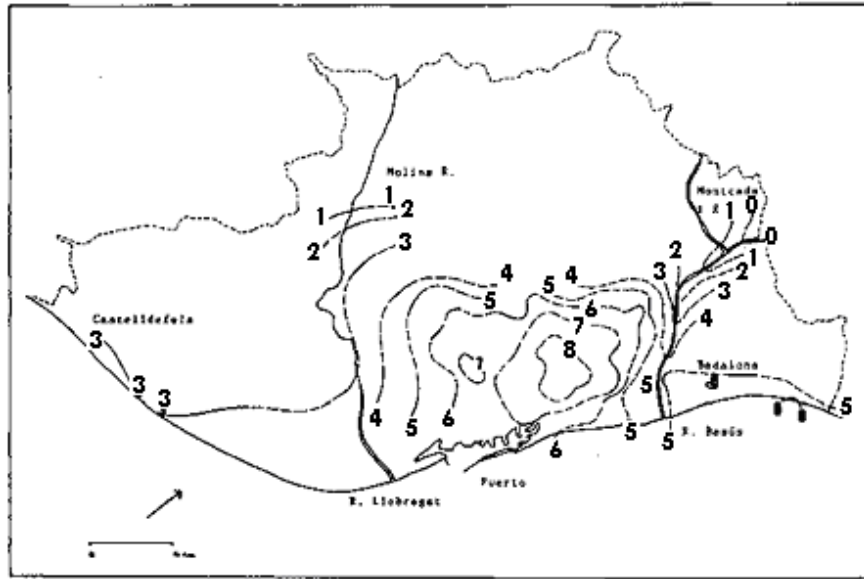


Fig. 2.79 Isotermas, en °C del día 12 de febrero de 1986, a las 21 h 35 m (TMG), en el área metropolitana barcelonesa, habiendo una diferencia de 8 °C entre el example y la zona rural en Molins da Rei. Fuente: Matín Vide y Moreno op. cit. 1990.

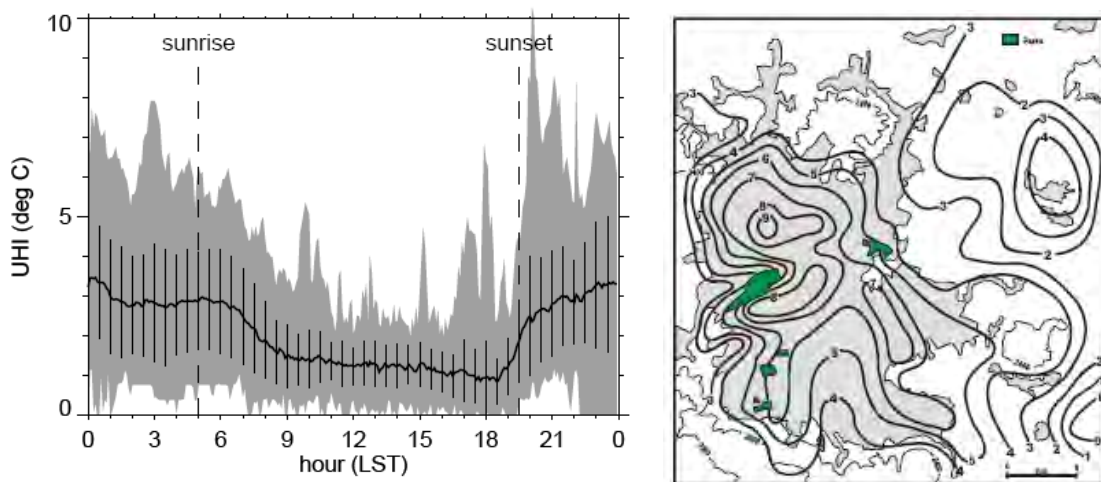


Fig. 2.80 Izquierda: Promedio de Intensidad en °C de la Isla de Calor en la ciudad de Phoenix, en función de la hora del día (incluye rango de desviación estándar). Se distingue que la diferencia máxima es en el período nocturno. Fuente: Fast, 2004.

Fig. 2.81 Derecha: Desempeño de la isla de calor en Ciudad de México en Noviembre de 1981. La zona central de la ciudad y la de la periferia tienen una diferencia de 7 °C. Fuente: Jauregui E. 1990.

La isla urbana de calor se desarrolla de manera más pronunciada en invierno y su importancia en verano se reconoce en relación a condiciones de disconfort y al alta demanda de energía en refrigeración (Kusaka, 2004), sobretodo en los centros urbanos.

Se han discutido variadas causas del efecto isla de calor. Howard (op. cit. 1833) lo asociaba a los consumos de combustible tanto domésticos como industriales; Kratzer (1956) a los efectos de la contaminación atmosférica; Mitchell (1961) a la capacidad térmica y conductividad de los materiales usados en edificación y pavimentación; Chandler (1962) a la importante reducción de la evaporación en la ciudad. De acuerdo a Oke (op. cit. 1991), el fenómeno de Isla de Calor se debe principalmente a los factores siguientes:

- La forma geométrica del cañón contribuye a la disminución de la pérdida de radiación de onda larga desde su interior hacia el espacio superior.
- La forma geométrica del cañón contribuye a disminuir el albedo del sistema urbano debido a las múltiples reflexiones de radiación de onda corta entre las superficies de la calle.
- La reducción de las superficies evaporativas en la ciudad, de manera que hay una disminución de calor latente y un aumento de calor sensible.
- La reducción de transferencia de calor desde dentro de la calle hacia el espacio sobre ella.
- La masa térmica de los edificios aumenta el almacenamiento de calor sensible en su estructura edificada.
- La existencia de calor antropogénico por su propio metabolismo y por uso de combustibles fósil.
- La existencia del efecto invernadero urbano contribuye al incremento de la entrada de radiación de onda larga desde la atmósfera urbana sobrecalentada y contaminada.

Junto con el aumento de la temperatura, hemos visto que la geometría urbana ha afectado otros parámetros climáticos. La radiación solar se ha visto reducida seriamente debido a la dispersión y la absorción crecientes, mientras que la duración de la radiación del sol en ciudades con alto desarrollo industrial ha disminuido entre un 10 % y un 20% en comparación con el campo circundante (Landsberg, op. cit. 1981).

Oke (1982), señala que la isla de calor es directamente proporcional a la población e inversamente proporcional a la velocidad del viento urbano: A medida que aumenta la velocidad del viento, disminuye la intensidad de la isla de calor.

Summers (1964), señala que la diferencia de temperatura en la isla de calor es directamente proporcional a la altura a la que se encuentra el viento que renueva el aire en la ciudad e inversamente proporcional a la densidad del aire, el calor específico y la velocidad del viento; y que la temperatura potencial disminuye con la altura; es decir, la altura del viento que renueva el aire en la ciudad depende de la geometría y rugosidad de ella.

La geometría del cañón influye en el comportamiento de ese proceso convectivo y el movimiento horizontal del aire (Goh y Chang, 1999). En una escala microclimática, la relación entre la máxima intensidad de Isla de Calor ($\Delta T_{ur(max)}$) y el tamaño de la relación alto/ancho (H/W) del cañón en centros urbanos de América, Europa y Australia-Asia (Oke, 1981) se muestra a continuación. Una mayor relación H/W significa una menor ventilación de la calle. Estas almacenan la radiación y favorecen en mayor medida la temperatura del aire.

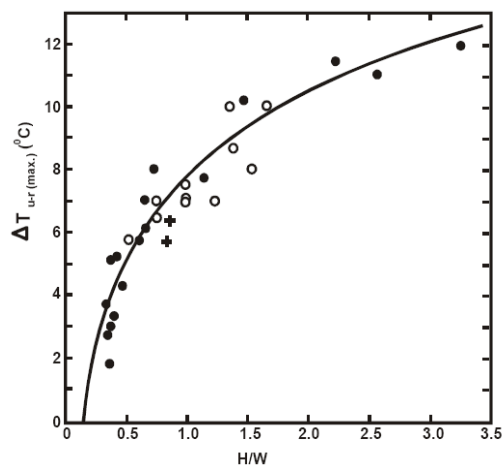


Fig. 2.82 Relación entre Isla de Calor y razón entre alto y ancho del cañón urbano. Se distingue que a mayor relación H/W, mayor isla de calor. Fuente: Oke op. cit., 1981.

2.2.2.1 TEMPERATURA DEL AIRE EN LA SECCION DE LA CALLE

Se han desarrollado diversos estudios del comportamiento termodinámico del clima urbano local (Cleugh y Oke 1986; Grimmond y Oke, 1995, 1999b; Isalgué, et. al. op. cit. 1998; Roth y Oke 1995; Christen et. al. 2002a, 2002b; Offerle et. al., 2002). Estos han mostrado influencias de la geometría urbana y sus materiales en la temperatura del aire.

Se ha determinado un comportamiento heterogéneo de la temperatura del aire en la sección de la calle: su distribución es distinta a través de la sección de la calle. Próximo a las fachadas existe una película de aire cuya temperatura está en función de la temperatura de la superficie del edificio determinando un transporte de aire vertical. En el centro de la sección de la calle y al nivel del suelo, la temperatura del aire, en la mayoría de los casos es más baja que la de las películas de aire en las fachadas. La temperatura del centro de la sección de la calle depende más del transporte horizontal de aire (Roth et. al., 1989). Respecto de la distribución vertical, Yoshida (et. al. 1990) y Eliasson (1993) indican que la estratificación en vertical de la temperatura del aire, desciende a medida que se asciende en la sección de la calle. Sin embargo no se observa que exista una relación entre estratificación del aire y la altura de la sección de la calle, sólo que habría en una menor temperatura en la parte superior del cañón (Santamouris, op. cit. 2001). El calor superficial se funde, mezclándose primero dentro del cañón y después con los flujos sobre los techos y azoteas (Offerle, et. al., 2007).

En este sentido, la representación de los flujos superficiales urbanos ha tenido recientemente un importancia relevante en la predicción del tiempo y la dispersión de contaminantes atmosféricos en los espacios urbanos (Masson, op. cit. 2000; Martilli, op. cit. 2002).

2.2.2.2 MATERIALES URBANOS Y TEMPERATURA DEL AIRE

Respecto de las superficies de la calle, sus diferentes temperaturas de radiación son muy importantes de estudiar en la atmósfera urbana y son determinantes en la temperatura del aire al ser los principales elementos fuentes de calor; y son un prerrequisito necesario para entender el sistema climático urbano (Voogt y Oke, 1997).

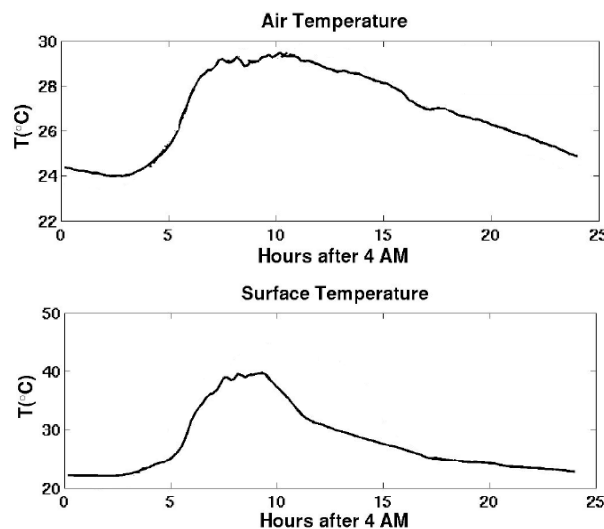


Fig. 2.83 Fig. 2.84 Temperatura promedio del aire (arriba) y superficial (abajo), en un cañón en la zona céntrica de Chicago en agosto del 2005. Fuente: Barzyk y Frederick, 2006.

En el proceso de calentamiento del aire del espacio urbano participan un flujo de radiación directa y difusa de onda corta (flujo solar) que llega al muro, una radiación

emitida desde las paredes y de la atmósfera, calor sensible debido a las transferencias convectivas entre las paredes y la atmósfera, y a la conducción dentro de las paredes, que depende del valor de la inercia de la pared, de sus capas y materiales (Hénon, Mestayer y Groleau, 2007) y de la temperatura interior. En los tejidos urbanos, la superficie envolvente de la calles es mayor que el de una superficie plana y por tanto el flujo total también es mayor (Barlow y Belcher, 2002; Barlow et. al., 2004).

Sin embargo, una de las mayores causas de la variación de la temperatura superficial es la incidencia solar en el cañón urbano. La radiación que llega sobre las superficies que dan forma al espacio urbano llega de manera distinta a cada superficie dependiendo de la orientación, geometría, composición y de la visibilidad que cada una tenga respecto de la dirección de la radiación (Vogt y Krayenhoff, 2005). Esta anisotropía tiene una gran influencia en los flujos e intercambios de calor entre la superficie y la atmósfera urbanas y en la temperatura del aire (Nakamura y Oke, op. cit. 1988; Offerle, et. al., op. cit. 2007).

Aquellos lugares de la ciudad con baja visibilidad de cielo, la ventilación disminuye y aumentan su temperatura durante la noche, especialmente en aquellos espacios constituidos por edificios de oficinas o comerciales (Kikegawa, Ohashi y Kondo, 2007). Si la sección presenta mayor visibilidad de cielo, facilita un mayor viento en su interior. Estos vientos fuertes producen que la diferencia entre la temperatura superficial y la del aire sea menor ya que reduce el enfriamiento por radiación (Moscicki y Voght, 2007).

Si la sección presenta una baja visibilidad de cielo (mayor relación H/W) comporta menor variación diaria de temperatura (Ali-Toudert y Mayer, 2006) y, a medida que aumenta, la calle cañón presenta mayor variación anual de temperatura (Gál, Lindberg y Unger, 2008).

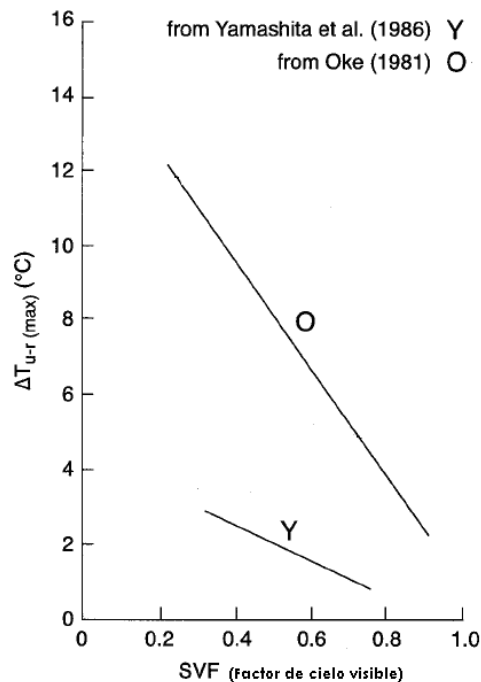


Fig. 2.85 Relación entre diferencias máximas de temperatura urbana y rural y factor de cielo visible. Fuente: Atkinson, 2003, modificado.

2.2.2.3 PALABRAS FINALES

Existe una serie de factores originados en la forma de la ciudad y en el comportamiento de sus habitantes que son determinantes en el comportamiento de la temperatura del aire en el cañón urbano y que se listan a continuación.

FACTOR	INFLUENCIA EN LA TEMPERATURA DEL AIRE
Disipación de calor antropogénico	Calentamiento del aire durante el día y la noche
Disminución de la evaporación por incremento de superficies impermeables	Calentamiento del aire durante el día y la noche
Aumento de superficies almacenadoras de calor durante el día	Calentamiento del aire durante la noche Enfriamiento durante el día
Disminución del albedo debido a la estructura canopy	Calentamiento del aire durante el día y la noche
Disminución del enfriamiento radiativo debido a la estructura canopy	Calentamiento del aire durante la noche
Incremento de la radiación de onda larga debido a las partículas contaminantes	Calentamiento del aire durante el día y la noche
Disminución del flujo de calor turbulento debido a la disminución del viento en la superficie	Influye durante el día, en los cambios entre el exterior y el interior de los edificios
Aumento del flujo turbulento de calor debido a los edificios	Influye durante el día, en los cambios entre el exterior y el interior de los edificios
Las partículas de polución del aire bloquean la radiación solar	Enfriamiento día y noche
Disminución de la radiación solar debido al canopy edificado	Enfriamiento al interior del canopy edificado

Tabla 2.5 Factores urbanos que influyen en la temperatura del aire. Fuente: Kimura, 1992.

Recordemos que las ciudades mediterráneas tienen estructuras espaciales de calles estrechas que históricamente presentan una adaptación a la mayor radiación de verano, mejorando los niveles de confort durante esta estación, debido a que limitan el aporte de radiación solar y la acumulación de calor. Sin embargo, el suceso de la calle se ve afectado por las fuentes antropogénicas de calor, lo que aumenta los requerimientos de climatización en los edificios, al estar relacionados de manera importante ambos factores: microclima urbano y climatización (Bozonnet, Belarbi y Allard, 2006). Las nuevas maneras de trabajar y de organización de estos espacios, los sistemas de oficinas, los ordenadores, etc., que se ubican principalmente en zonas de oficinas de los centros urbanos, favorecen estas dinámicas.

2.2.3 FORMA EDIFICADA Y HUMEDAD DEL AIRE

Incidencia de la forma edificada en el comportamiento la humedad del aire

Los efectos de la actividad del hombre sobre el clima son diversos y son el resultado de las "interferencias" en los procesos de los sistemas naturales (Oke, op. cit. 1978). Las ciudades modifican localmente el clima, al alterar los flujos naturales de energía a través de su propia construcción y de las actividades de sus habitantes (Zárate, 1991).

En el caso particular de la humedad del aire, las áreas urbanas pueden causar su disminución o incremento a partir de procesos de modificación del calor latente que actúa en el balance de radiación²². Estas modificaciones se puede ejemplificar en los por procesos que liberan vapor de de agua, como por ejemplo el que se libera en los procesos de quema de combustible fósil.

El agua posee una cantidad de propiedades que le da una importancia sustancial en el proceso del clima. La humedad del aire, como regulador térmico, absorbe radiación solar y terrestre; es un indicador de la posibilidad de lluvia inmediata; respecto del balance de energía participa en los procesos de evaporación y evapotranspiración que están vinculados al calor latente y favorece los procesos de descontaminación al retirar contaminantes del aire (Richards, 2004).

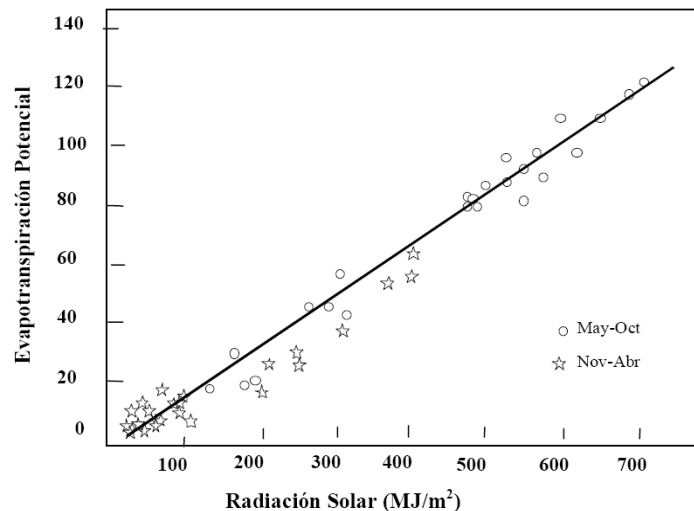


Fig. 2.86 Relación entre la radiación solar total mensual y la evapotranspiración potencial mensual ET_p en Copenhague, Dinamarca, entre 1970 y 1973. Fuente: Aslyng, 1974, en Tuñón, 2000.

Respecto del proceso de evaporación, este corresponde a la cantidad de agua que, en forma de calor latente, se transfiere a la atmósfera proveniente del suelo y las masas de agua. Generalmente, la disponibilidad de agua determina el reparto de energía en flujos de calor sensible, flujo de calor latente y flujo de calor del suelo (Tuñón, 2000). Para que ocurra este fenómeno se necesita consumir energía, que en su mayor parte viene de la radiación solar. Existe por tanto una relación entre radiación solar y evapotranspiración, que se muestra en la gráfica superior, pero que no se cumple en regiones áridas o semi-áridas, donde los procesos de advección tienen un importante rol (Tuñón, op. cit. 2000).

Los efectos de la urbanización sobre el clima y particularmente sobre la humedad relativa pueden originarse en el aumento continuo de la temperatura y la disminución del vapor

²² Diversos modelos meteorológicos en la actualidad caracterizan el comportamiento del balance de energía de superficie urbana. Ver en Urbanization Of Meteorological And Air Quality Models. Editors Alexander Baklanov, Alexander Mahura, Sue Grimmond. COST Action 728. Enhancing Mesoscale Meteorological Modelling Capabilities for Air Pollution and Dispersion Applications. In Preparation (Jan 2008).

de agua (Adebayo, 1991; Omoto, 1994; Um, Hyang-Hee y otros, 2004). A medida que aumenta el área construida en torno de un lugar, aumenta la temperatura del aire por la capacidad térmica de los nuevos materiales. Este proceso de edificación disminuye los niveles de humedad relativa.

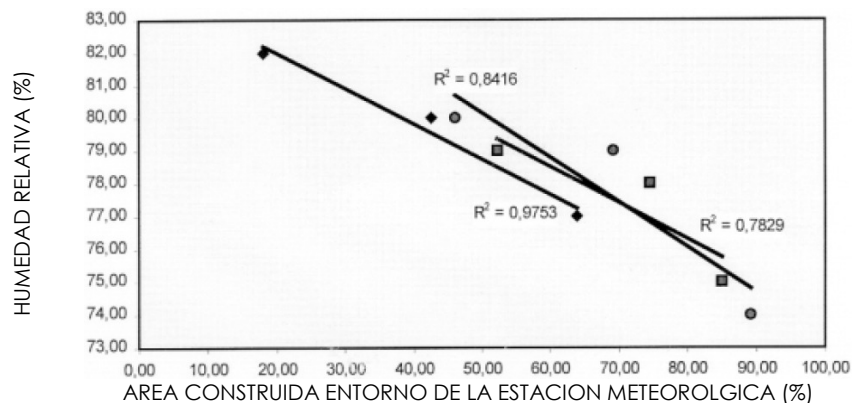


Fig. 2.87 Evaluación del comportamiento de la humedad del aire en San Pablo, Brasil. Fuente: Dorighello, 2002

El tipo de cobertura, sus características de porosidad, de distribución de la porosidad, de profundidad de suelo, de contenido de materia orgánica y de sales, etc., son factores que influyen en la evapotranspiración de una superficie (González del Tánago. S/A). Si un clima es árido o semiarido, presenta una muy baja evapotranspiración; y la ciudad, en este sentido, debido a la deforestación y a los sistemas de edificación, es un lugar seco (Hage, 1975), con baja o nula capacidad de almacenar agua, a diferencia de la cobertura natural de las zonas rurales.

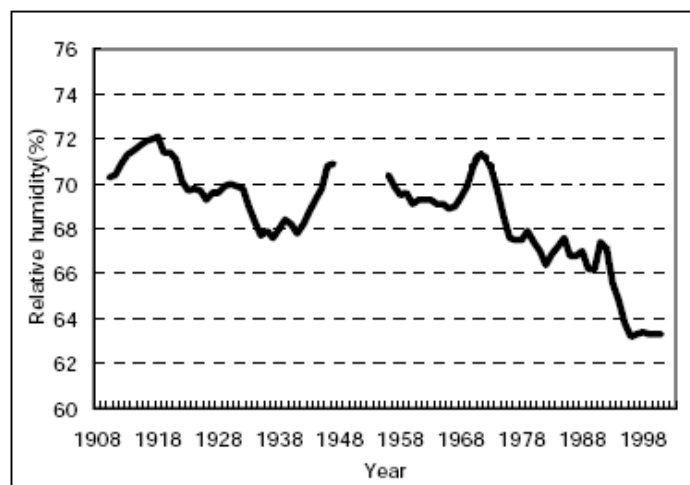


Fig. 2.88 El gráfico indica la variación en % de la humedad relativa observada en Seoul, Corea durante casi un siglo. Su origen está en el cambio de temperatura y/o de vapor de agua a partir de la información en estaciones meteorológicas y de la variación media anual del índice NDVI al disminuir las áreas forestadas. Fuente: Hyang-Hee y otros, 2004

Si evaluamos este comportamiento urbano respecto del extraurbano, la humedad del aire en las zonas rurales tiene un comportamiento distinto: Durante el periodo nocturno, la humedad de la ciudad es más alta que la rural. Durante el día sus valores son similares. Como se aprecia en la gráfica del estudio siguiente:

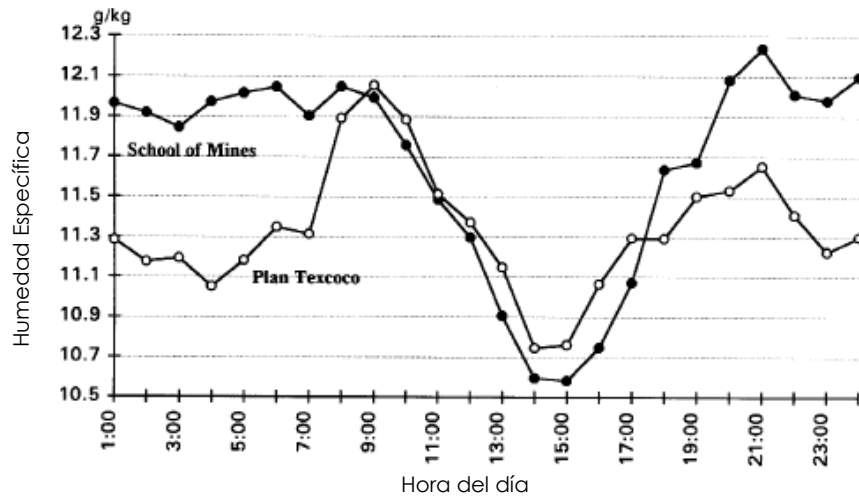


Fig. 2.89 Variación diaria de la humedad específica en una zona urbana (School of Mines) y en una zona rural (Plan Texcoco), 12 a 18 de junio 1993 (verano) en México. Fuente: Jauregui E., A. Tejeda, 1997.

Algunos estudios (Grimmond y Oke 1999a) han determinado que el porcentaje de superficie permeable determina los niveles de calor latente de un tejido en el balance de radiación final.

CIUDAD	Tipo de uso de suelo	% suelo edificado	%suelo impermeabilizado	% Suelo vacante	% Zona de árboles	% Pasto	% agua	% QE
Vancouver	Industria liviana	41	44	0	3	2	0	13
Vancouver	Suburbano	31	23	2	9	35	0	30
Chicago	Suburbano	36	25	0	7	32	0	46
Sacramento	Suburbano	36	12	1	13	34	5	45

Tabla 2.6 Ejemplos de tipos de uso de suelo y cobertura y evapotranspiración. QE corresponde al % de Calor Latente. Las superficies de suelo de los suburbios están constituidas por un alto porcentaje de superficies permeables y almacenadoras de humedad como tierra, pasto y arbustos. En esos casos, los procesos de riego pueden llegar a influir muy significativamente los fenómenos de evapotranspiración: el agua presente en la superficie (de riego, piletas, fuentes, posas), reduce la temperatura del aire. En áreas suburbanas, el % de calor latente QE es alto. En la zona de industria liviana, el % de superficie que participan de la evapotranspiración es mucho menor y el calor latente QE correspondiente también es menor. Esto significa que los niveles de humedad relativa en el segundo caso también son menores que en el primero.

Fuente: Grimmond y Oke op. cit. 1999a.

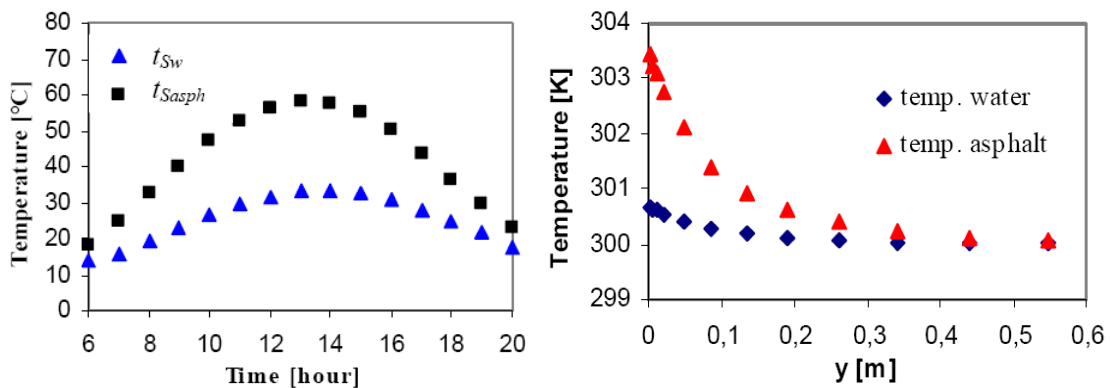


Fig. 2.90 Fig. 2.91 Izquierda, Evolución diaria de la temperatura superficial de agua y asfalto. Derecha, temperatura del aire a diversas distancias de las superficies. Fuente: Musy M. et. al., 2003.

Una superficie de agua influye sobre la temperatura y la humedad del aire y sobre la radiación: existe simultáneamente con la evaporación, un proceso de radiación, convección, conducción y transferencia de calor latente. La temperatura del aire sobre ella es mucho menor que la del aire que se encuentra sobre el asfalto durante las horas del día, favoreciendo cierto movimiento de aire en el cañón. Sin embargo, a cierta distancia de la superficie, las temperaturas se homogenizan.

Estos fenómenos continuos de la evaporación del agua, debido a fuentes de agua y a la vegetación, producen muchas variaciones climáticas diarias en la atmósfera. Así también, en las zonas de costa, cuando el viento es fuerte es capaz de mover masas de aire cargadas de humedad hacia partes más secas de la atmósfera, como sucede con las brisas que vienen del mar en los frentes urbanos; el fenómeno de la advección es mucho más acentuado y las posibilidades de evapotranspiración mayores. El cálculo de la disminución de la energía es complejo y depende de la relación entre la superficie de agua y la superficie urbana, la geometría y materiales de lo edificado y de los vientos dominantes (Robitu M. et. al., 2003).

Respecto de la relación entre temperatura y humedad del aire, cuanto mayor sea la primera, mayor es el potencial de evaporación, debido a que la cantidad de vapor de agua que puede contener el aire aumenta con el aumento de la temperatura. Al aumentar la temperatura del aire, la diferencia con la temperatura de una superficie aumenta forzando mayor evaporación.

Respecto de temperatura de radiación de superficie, cuanto mayor sea esta, mayor evaporación se producirá. Sin embargo, si la superficie está más caliente que el aire, la evapotranspiración será menor. Esto sucede normalmente en la calle con materiales de alta capacidad para almacenar radiación.

2.2.3.1 PALABRAS FINALES

La situación geográfica y la estructura de la ciudad, es decir meteorología regional, configuración geométrica, materiales de construcción, vegetación, agua y actividades humanas, tienen influencias importantes en el clima urbano (Mestayer y Anquetin, 1994, Robitu M. et. al., op. cit. 2003).

Hemos visto que la geometría urbana puede favorecer la ventilación y/o la entrada de radiación solar. La humedad participa en estos procesos siendo facilitada por las superficies urbanas, sea por agua acumulada o por agua expuesta debido a la impermeabilización característica de pavimentos o cubiertas. Por otra parte, la posibilidad de movimientos de aire que lleven humedad de una zona a otra, también depende de la geometría urbana. Tales fenómenos suceden por diferencias de presión entre las zonas, facilitada por las diferencias de temperatura del aire interior.

Para mejorar el clima urbano, las estrategias apuntan a una menor mineralización, más vegetación, un albedo más alto eligiendo menos materiales y colores absorbentes (Akbari et. al. 1992) o zonas de agua que favorezcan la refrigeración por evaporación. Estas estrategias nos permiten modificar el impacto climático de las estructuras urbanas.

2.2.4 FORMA EDIFICADA Y COMPORTAMIENTO DEL VIENTO EN EL ESPACIO URBANO

Incidencia de la forma edificada en el comportamiento del viento en el espacio urbano

El rápido crecimiento de la superficie urbanizada y la manera de conformar los espacios urbanos ha producido un deterioro de la calidad del aire y ha afectado la seguridad de sus habitantes²³. Desde el punto de vista climatológico, la superficie urbanizada es críticamente importante (Voogt y Oke, op. cit. 1997).

La geometría y los materiales característicos de la ciudad influyen en el clima urbano (Arnfield, 1982; Oke, op. cit. 1988). La interacción entre la estructura urbana y la atmósfera para la vida de los ciudadanos es cada vez más importante, no sólo para la dispersión de la contaminación y el clima urbano, sino también respecto de los consumos de energía. Su comprensión es esencial para las futuras estrategias de crecimiento sostenible de la ciudad (Martilli y Schmitz, 2007) y su estimación es de una alta importancia, para poder aplicar una ventilación natural, pasiva, tanto del espacio urbano y muy especialmente en los edificios (Santamouris, op. cit. 2001). Esto facilita un ambiente más confortable, menor uso de energía en los interiores, ahorro de dinero y una reducción de los gases de efecto invernadero.

La influencia de la ciudad en el movimiento del aire se manifiesta en fenómenos como la Isla de Calor, que ya ha sido descrita. Por otra parte, la rugosidad de la superficie urbana significa también un mayor roce aerodinámico sobre el viento general de la ciudad, lo que produce turbulencias tanto en los niveles superiores como en el interior de los cañones que a la vez se ve alterado por el movimiento vehicular y los movimientos de masas de aire caliente debido a los consumos energéticos.

El viento a nivel de fachada es resultado del viento mesoescalar e influenciado directamente por la zona urbana y las edificaciones de alrededor (Germano, op. cit. 2006). La ventilación natural es muy dificultosa en las áreas urbanas (Ghiaus, et. al. 2005), al compararlas con las rurales. Y en mayor medida es en las calles donde muy significativamente se reducen la velocidad del viento. Su reducción varía entre un 82% y un 68% (Georgakis y Santamouris, 2006).

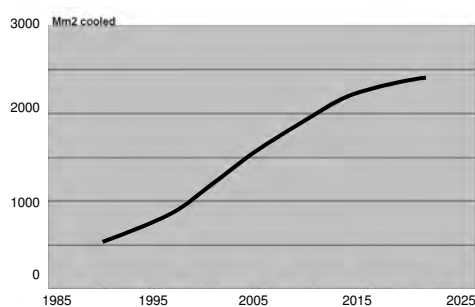


Fig. 2.92 Izquierda: Estimación de la variación de los m² de superficies refrigeradas con aire acondicionado en los 15 miembros de la U.E. Fuente: Adnot, 2003.

Fig. 2.93 Derecha: Variación espacial de los consumos de energía en refrigeración en edificios en el área central de Atenas, en periodos de tarde durante agosto de 1996, expresados en horas de enfriamiento respecto de 26° C de referencia. Fuente: Santamouris et. al., op. cit. 1996.

²³ "El medio ambiente urbano es quizás uno de los sistemas naturales más complejos de estudiar. Es un medio natural fuertemente intervenido por el hombre. Las actividades que se desarrollan en la ciudad afectan la calidad del aire y deterioran las aguas, modifican el relieve, aceleran la pérdida de terrenos agrícolas y reemplazan o destruyen la flora y fauna nativa. En consecuencia, son muy variados los impactos que genera la ciudad sobre los ecosistemas pudiendo afectar también muy seriamente la salud de la población. Por esta razón el estudio de los problemas del medio ambiente dejó de ser exclusivamente interés de los científicos y comenzó a atraer la atención de otros sectores de la sociedad, generando fuertes discusiones políticas que han influido también las decisiones a nivel económico. La dinámica del crecimiento de nuestras ciudades explica gran parte de los cambios permanentes o a largo plazo que experimenta el medio ambiente". IHL TESSMANN, Mónica. Desarrollo Ambientalmente Sustentable de Santiago, III Parte: Los Clima topos Urbanos y Sus Funciones Geoecológicas. Centro de Estudios Espaciales (CEE) / Depto. de Geografía, Universidad de Chile.

Esta dificultad de ventilación urbana se ha correspondido con que el número de metros cúbicos de espacios edificado con aire acondicionado aumenta significativamente en los países desarrollados, tanto en espacios industriales, oficinas como también en espacios residenciales, donde el uso de aire acondicionado se ha vuelto muy popular. Ejemplo de ello es el aumento del 40% en la venta de aire acondicionado en Francia, luego de la ola de calor en el 2003 (Hemon y Jouglu, 2003).

Esto significa un aumento del consumo de electricidad y serios problemas ambientales, tanto de calidad de aire al interior de las edificaciones (síndrome edificio enfermo SEE) como los asociados a la disminución de la capa de ozono (Santamouris, 2005). Así también, el precio de la electricidad aumenta considerablemente, al igual que en Chile. En la actualidad las normativas en los países desarrollados y de manera incipiente también en Chile, introducen obligatoriedad en consumos máximos de energía en los espacios edificados.

Una de las alternativas para dar solución a estos problemas está relacionado el diseño de la forma y el uso de materiales mas apropiados en la definición del espacio de la calle, el aumento de las áreas verdes, de espacios de agua, etc. (Santamouris, op. cit. 2005), con tal de mejorar las condiciones del microclima urbano y así disminuir la demanda de aire acondicionado en los edificios y mejorar las condiciones de confort climático en el espacio de la calle.

Revisaremos a continuación el estado del conocimiento en la relación entre geometría urbana y comportamiento del viento en los espacios de calle.

2.2.4.1 FORMA DEL TEJIDO EDIFICADO Y COMPORTAMIENTO DEL VIENTO URBANO

Los sucesos y formas orográficas son parte de los factores más importantes si se quiere determinar el comportamiento del viento en una zona a estudiar, al igual que los efectos de las áreas edificadas (Berg et. al., 2004).

En las áreas urbanas de geometría compleja, los patrones de viento son complejos. Así también lo es en la ciudad por el efecto que producen los cambios de rugosidad, los cauces de las calles, el efecto barrera de las edificaciones, la circulación de aire del efecto de la isla de calor, etc. (Oliveira, Bornstein y Soares, 2003). Se ha determinado que por efecto de la superficie rugosa edificada, se produce una reducción de la velocidad del viento superficial durante los periodos de viento fuerte, produciendo a la vez convergencia del flujo de aire hacia las partes altas del centro de la ciudad (Munn, 1970).

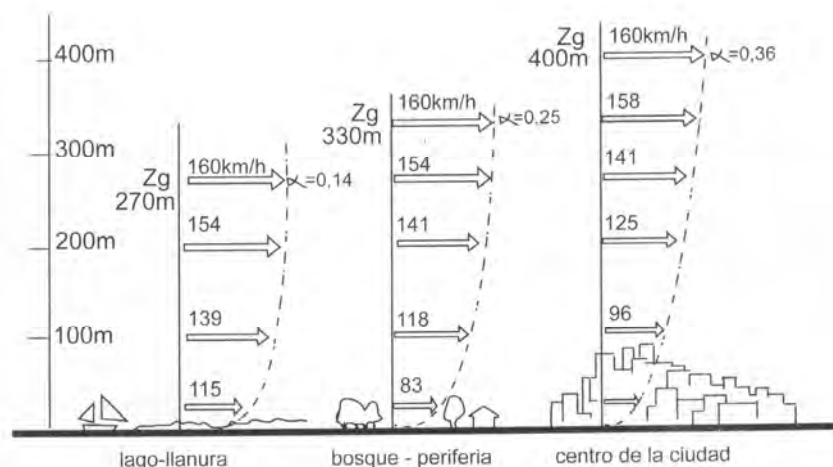


Fig. 2.94 Disminución de la velocidad del aire en las zonas urbanas. Fuente: Lavigne, 2003.



Fig. 2.95 Efecto isla de calor y convergencia del flujo de aire hacia las partes altas del centro de la ciudad. Fuente: Hough, 1998.

Esta capa rugosa se extiende verticalmente mucho más en la zona urbana que en la zona rural (Piringer et. al., 2002) y puede llegar a ser 4 veces la altura del cañón urbano inferior, evidenciándose que los edificios altos y los elementos individuales influyen puntualmente en los parámetros meteorológicos del movimiento del aire y del viento en la ciudad (Oke, 2004; Roth 2000). Cuando estamos en el Planetary Boundary layer (PBL), sobre la ciudad, la presencia de los elementos urbanos también es determinante en la velocidad del aire (Inoue, E, 1963; Givoni 1989). Por una parte, los edificios causan un efecto de barrera y la superficie urbana incrementa la fricción con el viento: la velocidad baja. Por otro lado, se produce un incremento de la velocidad del viento por la modificación en el gradiente de presión que produce el fenómeno de la isla de calor (Bornstein, op. cit. 1987).

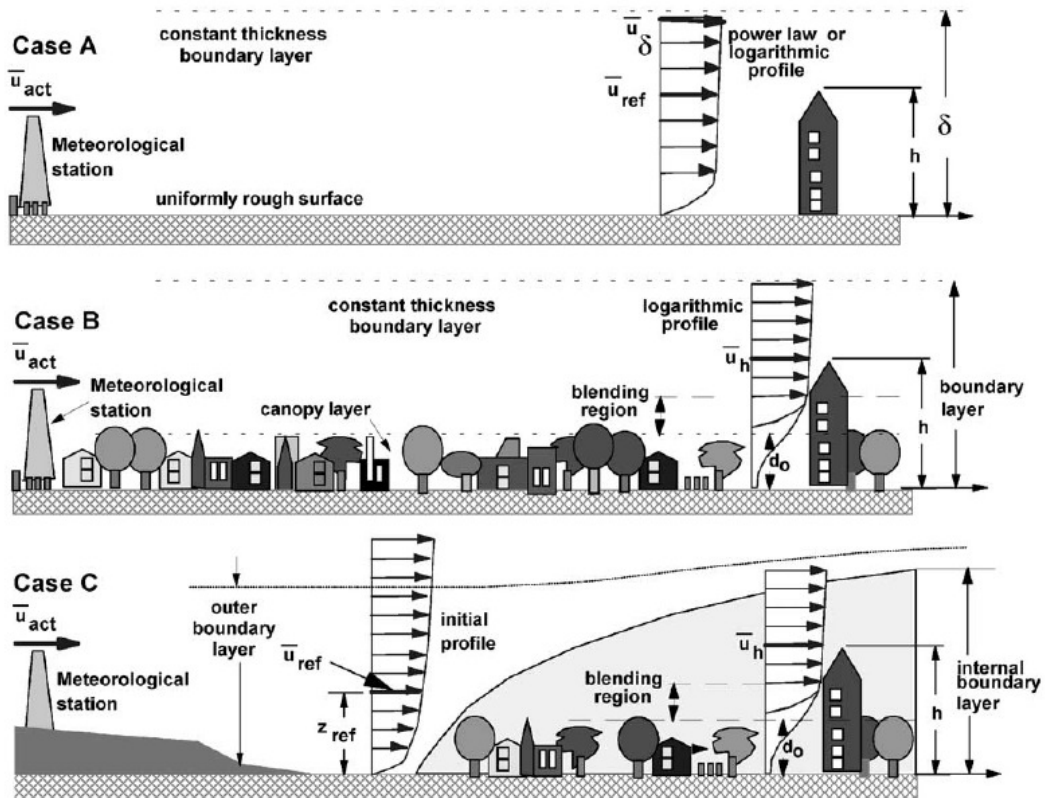


Fig. 2.96 Se grafica la diferencia en el comportamiento del viento fuera y dentro de la ciudad. La información de la estación meteorológica, da cuenta del régimen fuera de la ciudad, como muestra el Caso A (izquierda). El comportamiento al interior de la ciudad no es registrado por la estación meteorológica extra urbana, como sucede en el Casos B (centro). El caso C grafica las diferentes situaciones de comportamiento, en donde se aprecia las "correcciones" que la estructura urbana hace de ese primer referente extra urbano fuera del domo característico. Fuente: Plate y Kiefer, 2001.

Un elemento edificado asilado situado frente al viento, presenta una dinámica turbulenta que se genera al lado opuesto del viento, con un sentido contrario al movimiento original (Halitsky, 1963, Oke, op. cit. 2004), provocándose además los movimientos particulares en

los vértices inferiores y superiores en torno del elemento, así como en todas sus caras (Hosker, 1984).

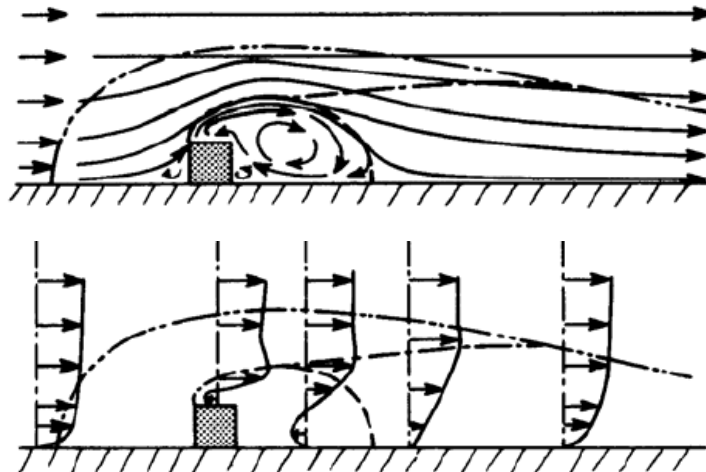


Fig. 2.97 Esquemas del movimiento del aire al encontrarse con un volumen de geometría recta. Fuente: Oke, T. R. op. cit. 2004.

El perfil del movimiento del aire generado toma las características del domo típico de un espacio edificado, cuyas alteraciones dependen de las dimensiones del elemento. Se distingue también, que los vórtices son de menor magnitud que los que encontramos en la situación de turbulencia entre edificaciones que conforman un cañón (Bowker, Perry, Heist, 2004). Si estos fenómenos son complejos considerando sólo un obstáculo, al considerar el suceso en los espacios de calles, donde existe una alta variación volumétrica, el fenómeno ha de complejizarse significativamente.

Las siguientes imágenes grafican estos fenómenos. Los flujos de viento en las proximidades de un edificio alto, con una edificación baja situada delante, sufre una serie de modificaciones. Parte del viento se mueve hacia las zonas inferiores y a nivel peatonal se incrementa la velocidad afectando la temperatura del aire. Si los cuerpos combinados son diferentes y se enfrentan al viento, se producen sobre presiones y depresiones bajo el viento pudiendo aparecer corrientes de aire desde las presiones más altas a las más bajas, propiciando movimientos de aire en espacios que pudiesen creerse calmos.

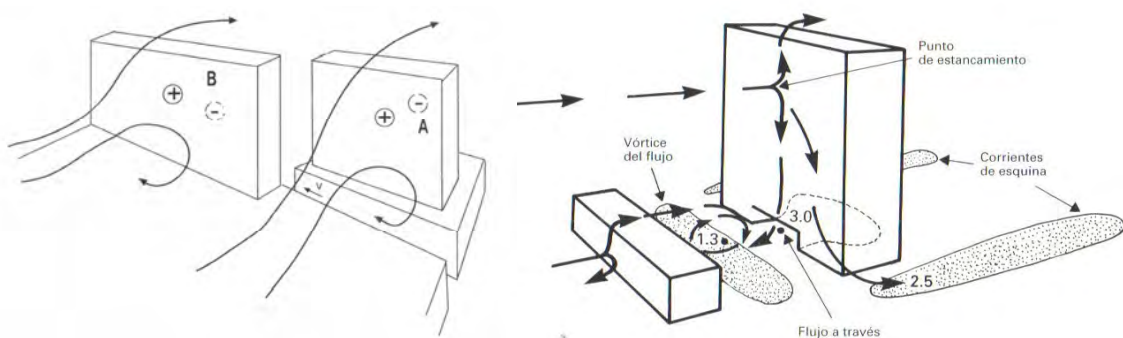
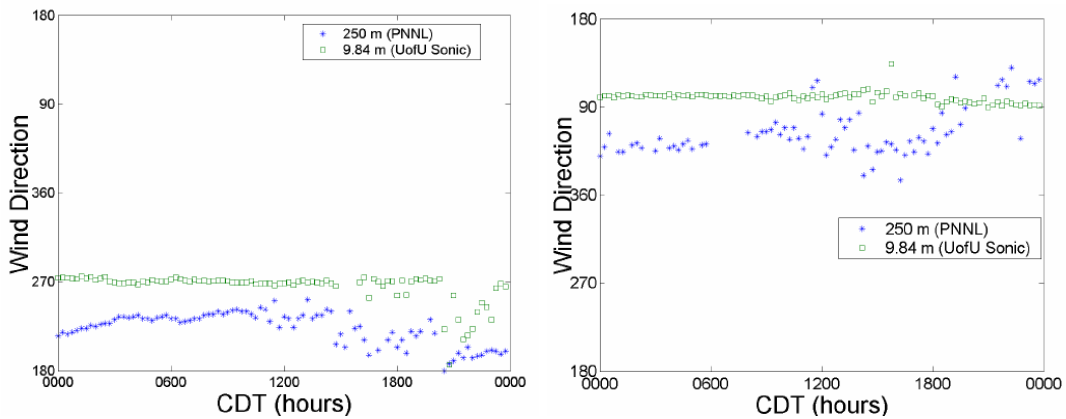


Fig. 2.98 Izquierda. Movimiento del viento en torno de una edificación alta. Fuente: Lavigne, 2003.
Fig. 2.99 Derecha. Movimiento del viento en torno de una edificación alta. Fuente: Oke, 1977 en Hough, op. cit. 1998.

En los estudios actuales es posible distinguir metodologías que se basan en mediciones del comportamiento del viento en cañones urbanos de diferentes ciudades y a partir del estudio de las condiciones morfológicas de los elementos constituyentes del espacio (Nakamura y Oke, op. cit. 1988; Santamouris, 1999; Grimmond y Oke, 1999b; Martilli et. al., 2004; Offerle et. al., 2006; Pigeon et. al. 2007, entre otras). Sin importar la morfología específica de la ciudad, en todos los casos, ésta, modifica la intensidad y dirección del viento (Barlow y Belcher, op. cit. 2002 y Barlow, et. al. op. cit. 2004).

El movimiento del aire en la calle puede ser distinto entre diversas alturas en el cañón urbano, debido a la advección horizontal y vertical, al almacenamiento en la capa o a diferencias radiativas (Pigeon et. al. op. cit. 2007). Pero también depende de la dirección del viento que está sobre él (Zajic, Princevac y Calhoun, 2004; Kastner-Klein y Clark, 2004; Pol et. al., 2004; Christen, Rotach y Vogh, 2004). El movimiento del aire a nivel de fachadas es el resultado combinado del movimiento del aire a nivel mesoescalar con influencia directa de las formas y materiales de la escala local (Nakamura y Oke, op. cit. 1988) y su conocimiento es muy importante para entender la relación entre el cañón urbano y la atmósfera superior (Eliasson, et. al., 2006) ya que existiría una correlación entre distintas escalas de clima en la comprensión del movimiento del aire y del viento (Plate, 1999, Santamouris, op. cit. 2001, Ghiaus et. al. op. cit. ,2005).

Pareciera ser que la simulación numérica representa la única herramienta para entender tridimensionalmente un fluido (Britter y Hanna 2003). De esta manera es posible modelar el comportamiento del viento en el espacio urbano y en el cañón, que se estructura desde la descripción del suceso del viento a macro escala hasta llegar a la escala del tejido urbano y puntual dentro de él (Isalgué, et. al. op. cit. 1998).



Comparación entre la dirección del viento a 250 m. (cuadrado en gráfico) y a 9,84 m. (asterisco en gráfico) en el cañón urbano de Park Avenue los días 20 y 23 de julio de 2003. Se aprecia la cercanía de ambos comportamientos.

Fig. 2.100 Izquierda. Comparación día 20 de julio de 2003.

Fig. 2.101 Derecha. Comparación día 23 de julio de 2003.

Fuente: Pol et. al. 2004.

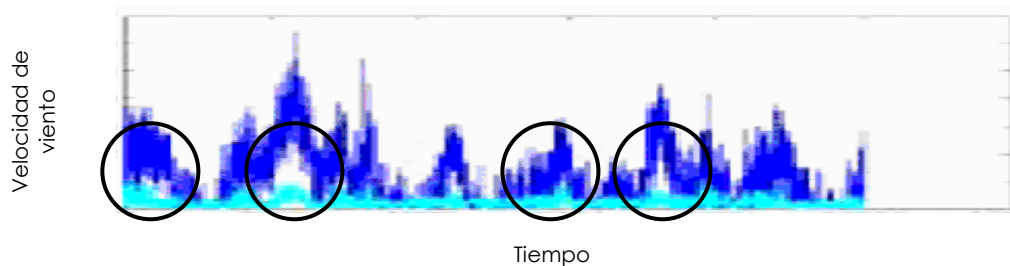


Fig. 2.102 Comparación entre la velocidad del viento dentro del cañón (franja inferior) y sobre él (franja superior). Se distingue la influencia de la velocidad del viento que existe sobre las edificaciones, en la velocidad del viento en el cañón. Se indican puntos significativos. Fuente: Santamouris M., Klitsikas N., Niahou K, 2001.

Estas correlaciones son significativas para esta investigación de acuerdo a que el modelamiento numérico microclimático se desarrolla al interior del cañón urbano con un dominio de metros, mientras que el modelamiento zonal o mesoescalar corresponde a un dominio demás de 1 Km., fuera de él. (ej. RAMS en Pielke et. Al., 1992; ARPS en Xue et. al., 1995; OMEGA en Bacon et. al., 2000; COAMPS en Hodur, 1997). La utilización de un modelo mesoescalar puede modelar efectivamente los sucesos de viento zonales de la atmósfera (Sang-Mi Lee, Yoon S-H., Byun D., 2004). Pero la proximidad al suelo y las

diferencias de nivel y “accidentes” naturales o artificiales, provocan las grandes variaciones de comportamiento del viento en los niveles inferiores. Normalmente los modelos de viento en el espacio edificado utilizan como referencia la velocidad del viento que está sobre él, es decir, sobre la altura del cañón y en terreno abierto o en los de la estación meteorológica (Isalgué, et. al. op. cit, 1998).

Las siguientes imágenes grafican la simulación del comportamiento del viento en la ciudad de Valparaíso, usando el modelo mesoescalar MM5 para el día 22 de julio de 2007 a las 14 horas. Se distingue lo complejo que aparece en esta escala el movimiento del aire en una zona de costa y de topografía variada. Sin embargo la resolución del modelo no es apropiada para la escala de la calle.

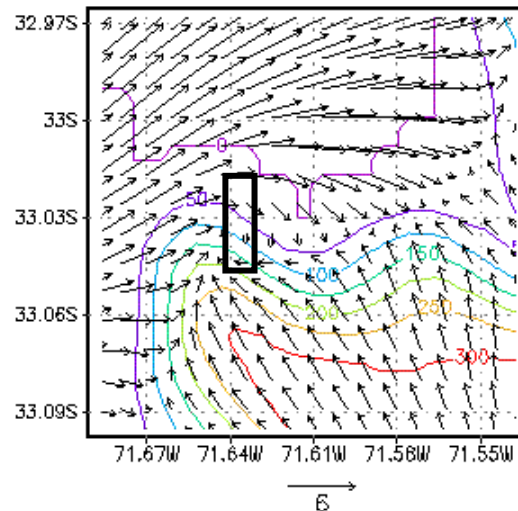


Fig. 2.103 Simulación de la condición de viento a 10m. sobre el nivel de suelo. En color la forma topográfica que el modelo tiene incorporada. Se indica en el rectángulo la zona detallada en los gráficos siguientes, que está dentro de las zonas de estudio de esta investigación. Fuente: Elaboración Propia.

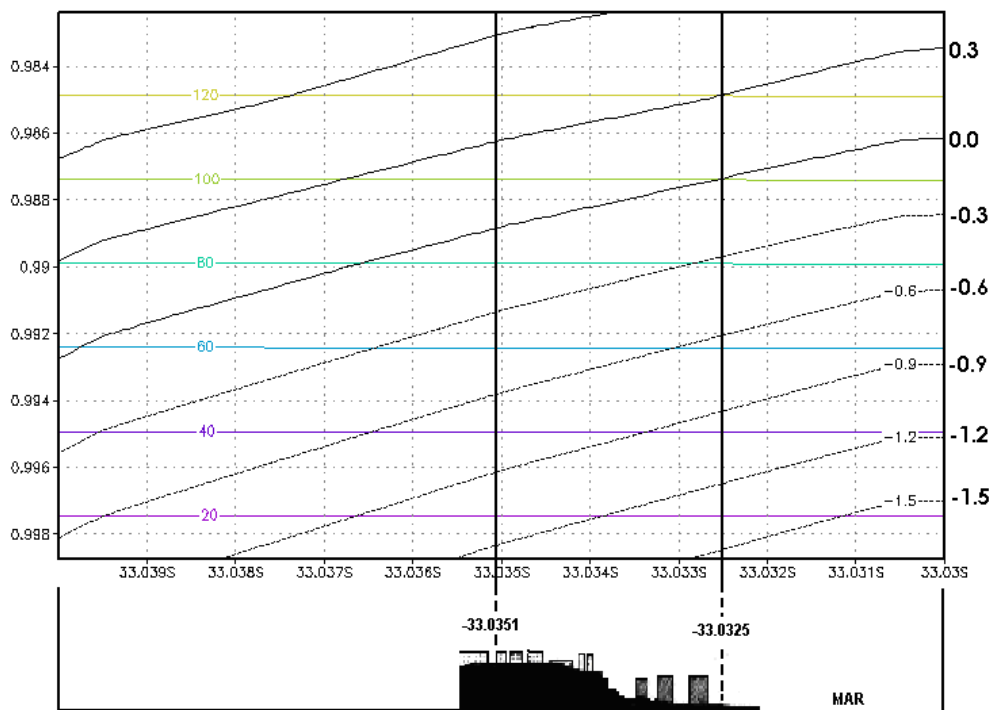


Fig. 2.104 Para los fenómenos de viento en Valparaíso es también muy importante considerar las brisas marinas, que tienen una alta implicancia en los procesos de advección tanto vertical como horizontal (Pigeon y otros, 2007). En la figura, las líneas en negro en diagonal indican la velocidad en m/s y dirección de la componente v (dirección norte-sur) del viento, para la fecha señalada y hasta una altura de 160 metros, con la dirección sur en signo (-). En color se indican los niveles en metro respecto del suelo. Fuente: Elaboración Propia.

La utilización de modelos tridimensionales de fluidos de viento con alta resolución, ha facilitado entender cómo la velocidad y movimiento del viento es heterogénea entre edificios asociado a sus diferentes geometrías y a las diferentes geometrías de los espacios que los separan (Bei N. y Shao Y., 2002). Se observa también en las simulaciones que a medida que la altura de evaluación aumenta, la ciudad y sus edificios influyen cada vez menos sobre el movimiento del viento²⁴.

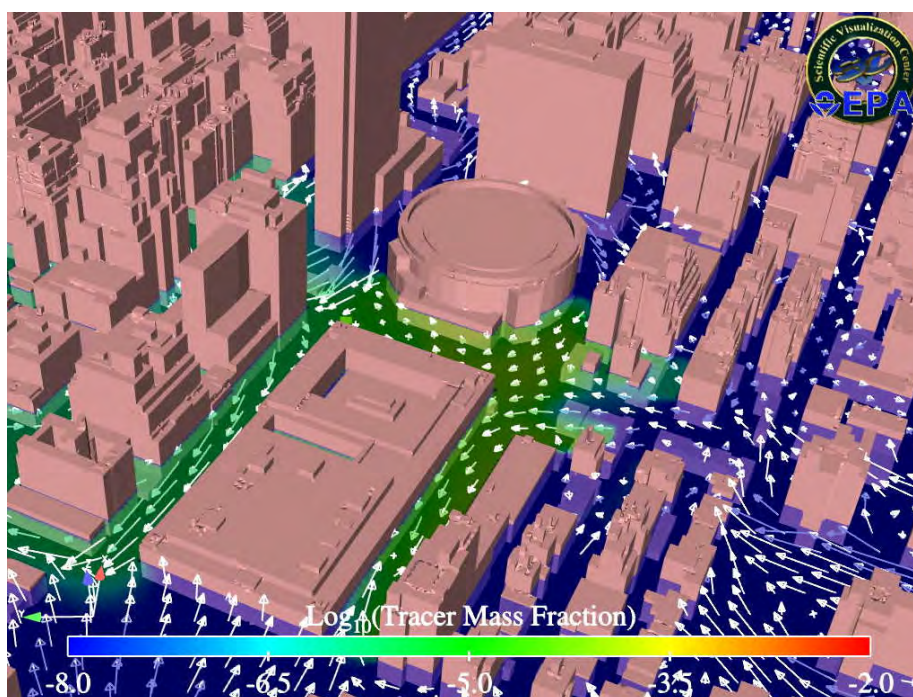


Fig. 2.105 Imagen de simulación con el Modelo FLUENT-EPA de la zona de Madison Square Garden, Nueva York. Fuente: Huber 2006.

Estos modelos de CDF, son validados utilizando túneles de viento con edificaciones a escala y con alta resolución²⁵. Estas validaciones son muy importantes para la credibilidad de los modelos (Chan, Stevens y Smith, 2001).

Existe una gran variedad de situaciones de morfologías urbanas y rurales, determinando diferencias en edificaciones, cubiertas superiores, inferiores, zonas de parking, vegetales, árboles, superficies de agua, pantanos, etc. Y en las zonas urbanizadas existe una gran diversidad de alturas, tipos de uso, densidades de ocupación de suelo, etc. (Cionco y Ellefsen, 2007). En este sentido, los modelos computacionales de fluidos dinámicos (CFD),

²⁴ Los Modelos de Dinámica de Fluidos (CFD) permite visualizar resultados detallados del movimiento del aire en el espacio urbano, la complejidad de sus patrones expresados en aceleraciones, desaceleraciones, vórtices, desviaciones, etc., entorno a las edificaciones y entre ellos (Hanna S. et. al., 2004; 2006; Lee, R. L. y otros, 2004). Ejemplo FLUENT-EPA (Hubert, 2005), FEFLU - Urban (Camelli et. al., 2004) y el modelo FEM3MP (Gresho y Chan 1998; Chan y Lundquist, 2005) utilizado para el estudio de dispersión en el centro de la ciudad de Oklahoma (USA, 2003) (Lee, R. L. y otros, 2004). Sus dominios van de 1,75 km. x 1,2 km. x 0,8 km. en FEM3MP hasta 10 km. x 7,5 km. x 1 km. en FLACS, y sus resoluciones horizontales son 3 m. (CFD-Urban), 10 m. (FLACS), 5 m. (FEM3MP), 2 m. (FEFLU-Urban) y 1-2 m. (FLUENT-EPA) y verticales 1m. (CFD-Urban), 5 m. (FLACS), 2-8 m. (FEM3MP).

²⁵ Respecto del túnel de viento, "este instrumental constituye una valiosa herramienta de diseño, apoyando el proceso creativo del proyectista y permitiéndole elaborar formas y espacios que respondan a la necesidad de crear mejores condiciones de confort; reduciendo el impacto desfavorable del viento y controlando las pérdidas de energía a través de superficies exteriores de los edificios. Así, el uso del Túnel permite verificar las estrategias de protección de viento y/o aprovechamiento del movimiento del aire que surgen del análisis climático de cada localidad y determinar el tipo de edificación y agrupamiento óptimo para cada zona" (Fernández y Schiller en <http://www.arquitecturatropical.org/EDITORIAL/documents/SOL%20Y%20VIENTO%20S%20.pdf>).

tienen cada vez mayor precisión con los recientes estudios para tener una muy alta resolución computacional (Cionco, Huber, Tang, 2007)²⁶.

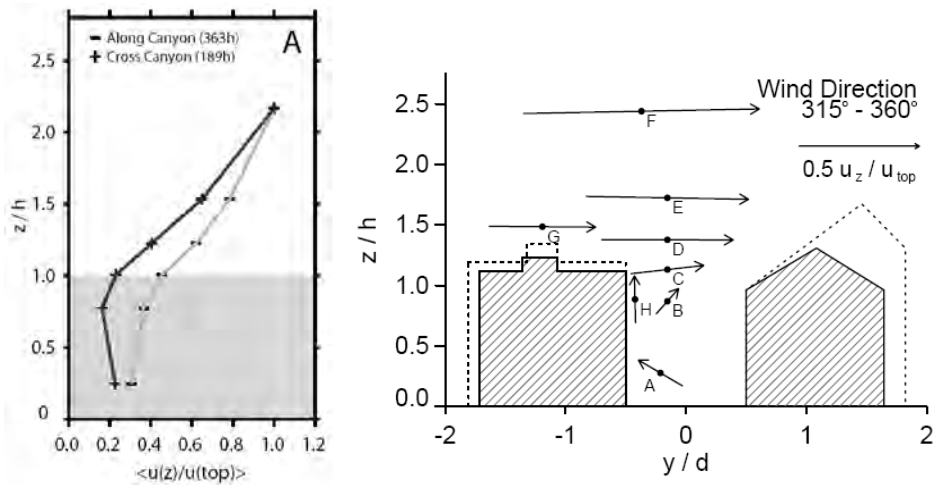


Fig. 2.106 Fig. 2.107 Izquierda: Diferencias entre las direcciones del flujo del viento a lo largo (gris) y perpendicular al eje del cañón (negro), en Sperrstrasse, Basilea. Derecha: magnitud y dirección de los vectores medios de las componentes del viento cuando el cañón lo recibe perpendicularmente, medidos con instrumentos montados en una torre de monitoreo o adosados al edificio (muro y cubierta). Fuente: Christen, Rotach y Vogh, op. cit. 2004.

Con respecto a la relación entre dirección del viento zonal o global de la ciudad y la dirección de un cañón urbano, cuando el cañón urbano es perpendicular al movimiento del viento sobre él y considerando la relación H/W (alto/ancho) del cañón urbano v/s L/H (largo/alto) de mismo, (McCormick, 1971; Hotchkiss y Harlow, 1973; De Paul y Shieh, 1986; Yamartino y Wiegand, 1986; Hoydysh y Dabbert, 1988, Oke, op. cit. 1988; Santamouris 1999).

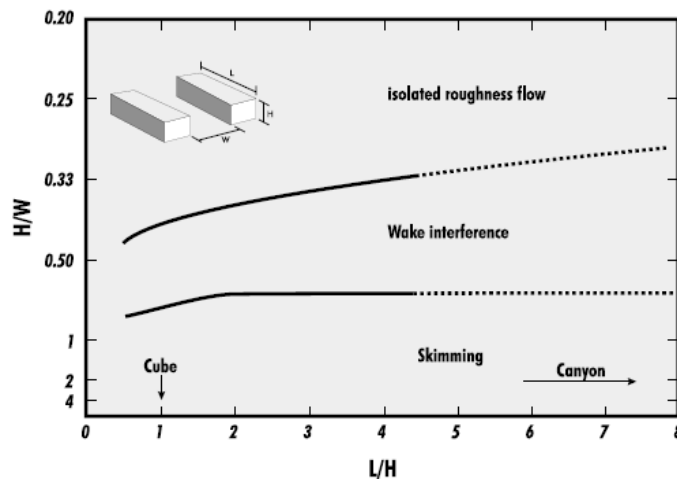


Fig. 2.108 Proporción de sección de cañón y largo, respecto del tipo de turbulencia interna a partir de un viento perpendicular a su dirección. Fuente: Oke T. R. op. cit. 1997.

²⁶ Los modelos de fluido de aire en el tiempo han ido aumentando de complejidad, dejando un grado de incertidumbre siendo las principales metodologías en este campo la simulación numérica directa (DNS), la simulación de grandes o variadas turbulencias (LES), que resultan más exactos, pero con un alto costo computacional (Chan, Stevens y Smith, op. cit. 2001) y los modelos de escala más pequeña (k-epsilon). Considerar un modelo simple de fluido significa considerar muy poca información, que hacen poco real el modelo (Fürbringer, 1994). De este punto de vista, los estudios que relacionan las distintas escalas atmosféricas próximas al suelo y el uso de metodologías perceptuales de análisis dan mayor realidad al proceso de modelado y a la información resultante.

La variedad de proporciones del espacio de la calle determina tres formas características del comportamiento del viento, que se muestran a continuación²⁷:

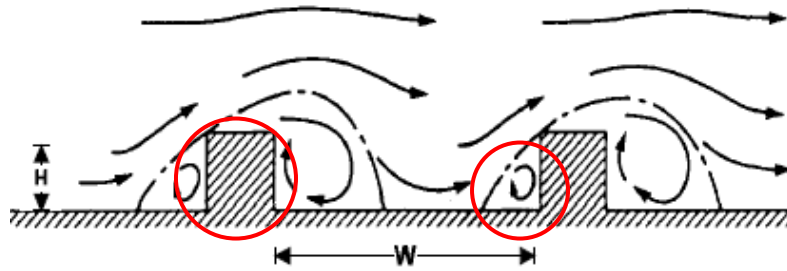


Fig. 2.109

En un cañón de una zona urbana de baja densidad, en que el alto es menor o igual que el ancho, es decir, en torno de una relación $H/W < 1/3$, se producen turbulencias internas aisladas (imagen superior).

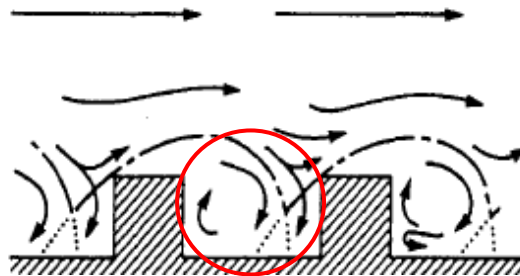


Fig. 2.110

En un cañón de una zona urbana de mediana densidad en que el alto es igual o mayor que el ancho, es decir, $0,5 \leq H/W \leq 1$, se produce una interferencia de las turbulencias opuestas, produciéndose una superposición e interacción de ambos fenómenos. (Imagen superior).

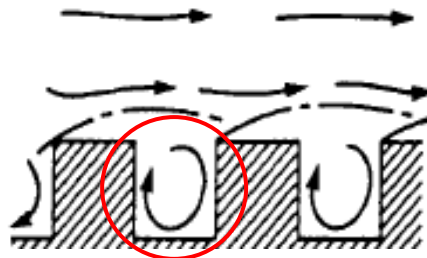


Fig. 2.111

En un cañón de una zona urbana de media alta a alta densidad, donde el alto es igual o mayor que el ancho, es decir, $1 \leq H/W$, se produce un único movimiento turbulento al interior complementándose los que en el primera relación se desempeñaban "independientemente" (imagen superior).

La existencia de zonas donde se produce recirculación del aire se presenta a continuación, sombreada en estos tres esquemas donde la separación entre los volúmenes define el fluir del viento en el interior del cañón y muestra que sucede con la posible renovación y ventilación en él, al definir también el movimiento el aire sobre la línea edificada.

²⁷ Modelos gráficos de comportamiento del aire cuando el viento lleva una dirección perpendicular a la dirección de la calle. Fuente: Oke T. R. 1988.

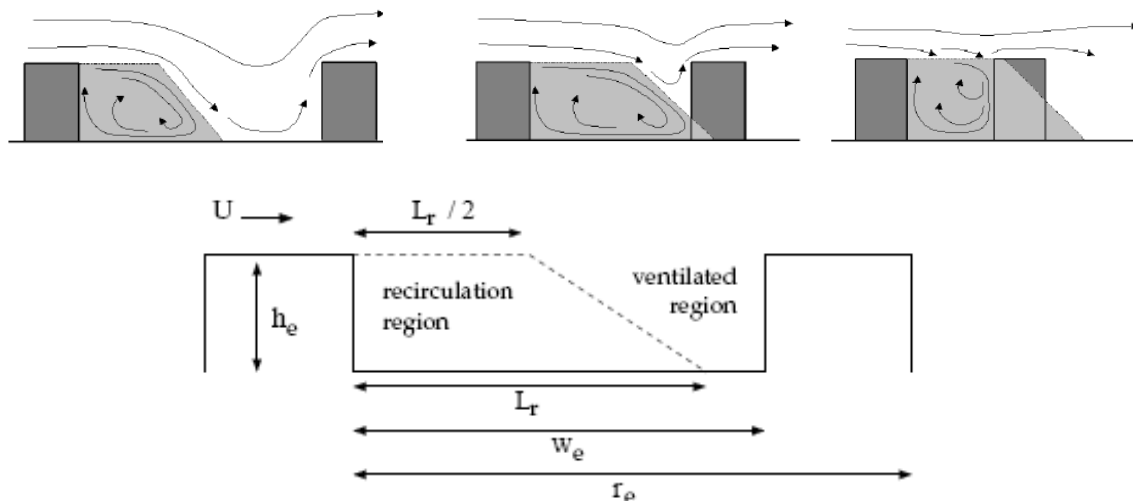


Fig. 2.112 Esquema del régimen de viento entre volúmenes edificados (después de Oke 1987). Fuente: Barlow y Belcher, op. cit. 2004.

Para la zona de recirculación, la dimensión de L_r es sugerida por diversos autores. Oke (op. cit. 1987) define una relación $L_r / h_e \approx 2-3$; Okamoto (et. al. 1993) sugiere $L_r / h_e \approx 3,5$; Barlow y Belcher (2004) sugieren $L_r / h_e \approx 3$.

Cuando la dirección del cañón es paralela u oblicua respecto de la dirección del viento, el cañón urbano direcciona el viento en su cauce, de acuerdo a la continuidad y longitud de su sección. Cuando el cañón es de mayor longitud, el viento es más encausado (APRAC model, Dabberdt, 1973; Canyon-Plume-Box, Yamartino, 1989, Lee, Shannon y Park, 1994; OSPM model, Berkowicz, 2000; Isolated building models, Schulman, 2000; ADMS, Robins y McHugh, 2000; Quick Urban & Industrial Complex –QUIC–, Brown, 2004, Adepalli et. al., 2007).

De igual manera, cuando el viento sobre la calle lleva cualquier ángulo, el viento en la calle está determinado por la componente longitudinal y transversal definiendo un fluido helicoidal a través del largo de la calle, exceptuando con un viento paralelo a ella. Los vórtices helicoidales han sido observados y estudiados en diferentes investigaciones (Jonson 1973; Dabbert, 1973; De Paul y Sheih, op. cit. 1986; Yamartino y Wiegand, op. cit. 1986; Arnfield y Mills, 1994; Johnson y Hunter, 1999; Santamouris, op. cit 1999), precedidos por modelos matemáticos y estudios de fluidos y en túneles de viento (Sini et. al., 1996; Baik y Kim, 1999; Baik et. al., 2000; Kim y Baik, 2001; Kovar-Panskus, 2002). En estos casos, la dirección de la velocidad longitudinal es proporcional al coseno del ángulo de incidencia, para cualquier ángulo del viento sobre el cañón (Isalgué, et. al. op. cit., 1998; Soulhac, Perkins y Salizzoni, 2008).

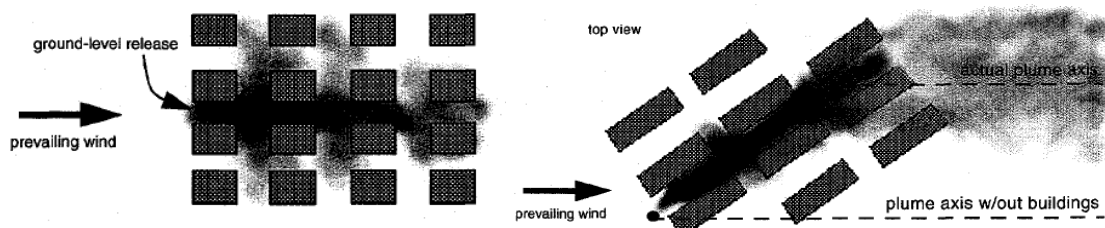


Fig. 2.113 Simulación de la dispersión de gas de acuerdo a la dirección del viento y de la trama edificada. Fuente: Brown, Michael. Emergency Responders' "Rules-of-Thumb" for Air Toxics Releases in Urban Environments. Los Alamos Scientific Laboratory, U.S.A. 1999.

De igual manera, la esbeltez del cañón influye en el comportamiento del viento a lo largo de la calle, en que la distancia entre los muros sería determinante (Soulhac, Perkins y Salizzoni, op. cit. 2008).

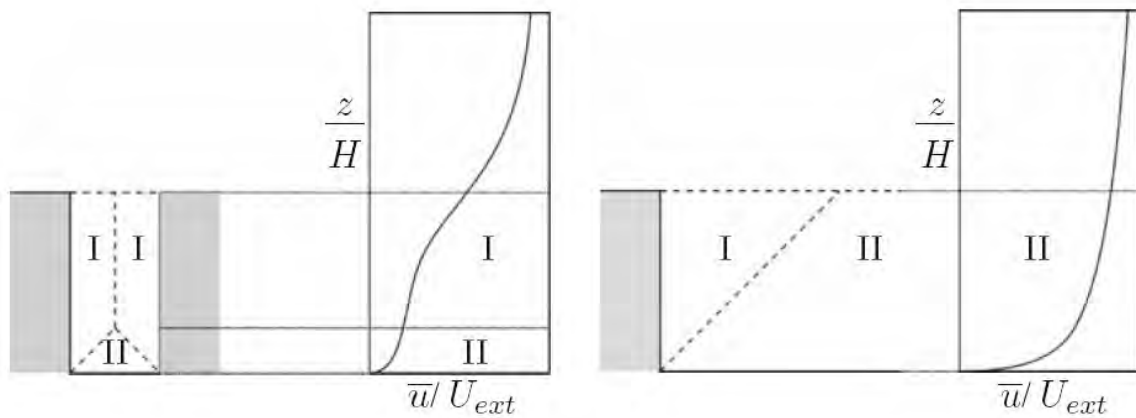


Fig. 2.114 Esquemas de la influencia de muros y suelo en el comportamiento del viento. Para el caso del cañón angosto (imagen izquierda) mayoritariamente el perímetro envolvente corresponde a superficies de muro y la influencia de ellos es mayor que la del suelo, definiendo un perfil logarítmico en la región identificada como I. El suelo sólo influye en los niveles bajos, definiendo un perfil de viento de tipo exponencial en la zona identificada como II. En este caso, la velocidad en el centro del cañón decrece cuando la relación H/W aumenta debido al roce de los muros. Cuando el cañón es ancho (imagen derecha) mayoritariamente el perímetro es suelo y la influencia de los muros es mínima comparada con la del límite inferior, definiendo un perfil de viento de tipo exponencial en la zona identificada como II. Fuente: Soulhac, Perkins y Salizzoni (op. cit. 2008).

Diversos modelos matemáticos expresan el comportamiento del viento en el cañón y sobre él.

Modelos como el de Nicholson pueden ser usados si el viento sobre los niveles de edificación es paralelo a la dirección de la calle, incluso con diferencias de $\pm 15^\circ$ (Nicholson, 1975; Ghiaus et. al. op. cit., 2005). Este modelo depende de la velocidad del aire, de la altura media de las edificaciones, del ancho de la calle, de la densidad de lo edificado y de la altura donde se estime el viento respecto del suelo y sigue una expresión logarítmica. (Cionco, R, 1972; Nicholson, S. E., 1975, Santamouris, op. cit. 2001; Plate E. J., Kiefer H., Wacker J. 2004; Ghiaus et. al. op. cit. 2005).

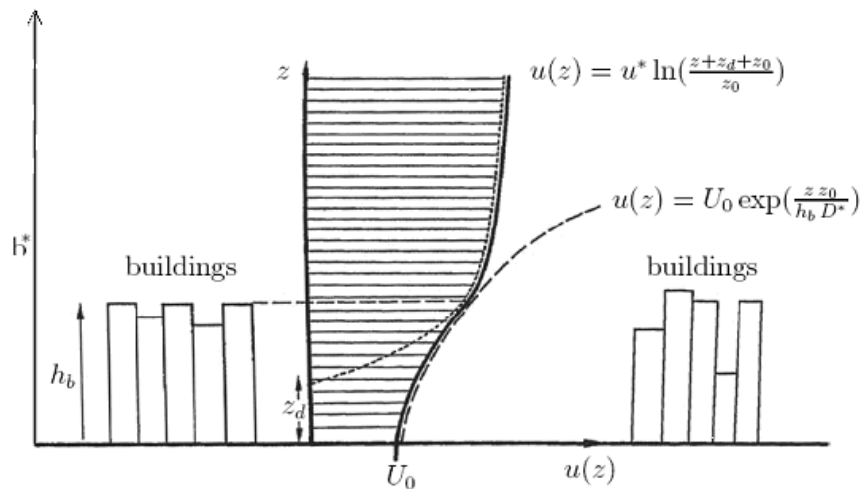


Fig. 2.115 Comportamiento logarítmico y exponencial del viento dentro del canopy urbano y sobre él. Fuente: Nicholson, 1975.

Bajo el nivel de las edificaciones, este dependería de la la velocidad del viento fuera del cañón, la longitud de rugosidad, de la distancia entre los obstáculos o edificaciones, de la altura y ancho de ellos, y de la altura a la que queremos saber el comportamiento del viento (Cionco, R, op. cit. 1965; Inoue, E, op. cit. 1963; Hotchkiss y Harlow, op. cit. 1973; Paciuk, 1975; Yamartino y Wiegand 1983; Santamouris, op. cit. 2001; Ghiaus et. al. op. cit. 2005, Georgakis y Santamouris, 2005).

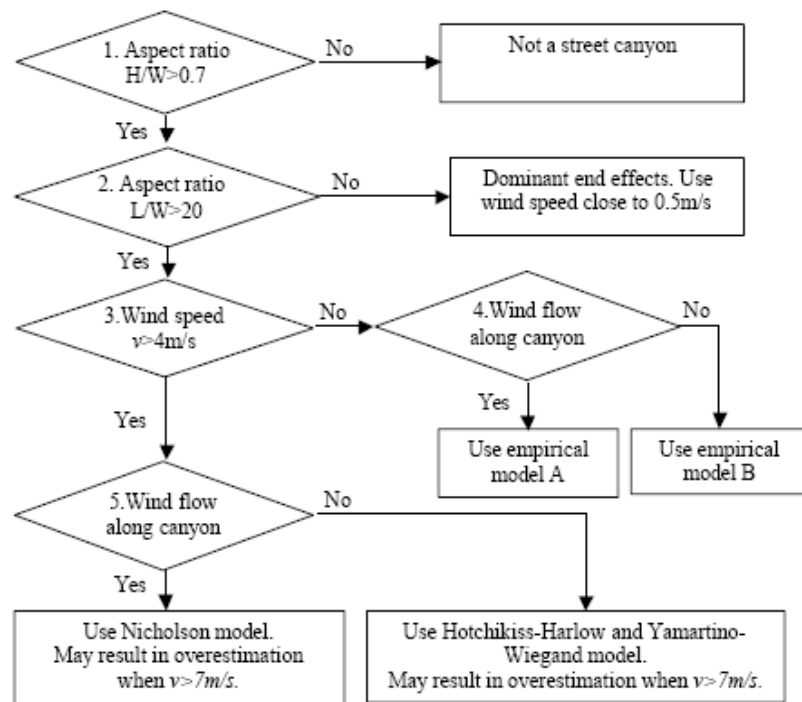


Fig. 2.116 Algoritmo para determinar la velocidad del viento al interior del cañón. Fuente: Georgakis y Santamouris op. cit. 2005; Ghiaus et. al. op. cit., 2005.

Otros modelos, como el de Heisler (1990 en Ochoa, op. cit. 1999) se definen a partir de las condiciones y datos de referencia de la estación meteorológica, normalmente un aeropuerto cercano y de la densidad total de la trama urbana, incorporando árboles y edificios. Hace diferencias entre invierno y verano de acuerdo a la diferente densidad de vegetación entre ambas estaciones.

Si se considera W como la velocidad del viento a estimar en el sitio, en m/s, W_0 como la velocidad de referencia y C como la densidad total de la trama urbana, considerando árboles y edificios, la expresión para verano se expresa a continuación:

$$W = W_0 (0,292 + 0,728 e^{-0,042 C}),$$

y la expresión de invierno corresponde a

$$W = W_0 (0,356 + 0,644 e^{-0,039 C})$$

La reducción de la velocidad de referencia en los espacios urbanos obedece tanto a que el lugar de la estación prácticamente está libre de densidad, así como por las diferencias de altura que se mide. Para una estación lo usual son 10 m. de altura. Para la ciudad y la circulación peatonal, lo usual es a 1,5 m del suelo. Este procedimiento establece un factor de reducción de la velocidad del viento en condición abierta y lo "corrige" para una altura entre 0 y 10 m. si consideramos W_z la velocidad estimada a una altura, esta corrección se aplica con el siguiente factor:

$$W_z = W \times 8,94 \times (Z/800)^{0,5}, \text{ en que } Z \text{ corresponde a la altura sobre el suelo, con una variación entre 0 y 10 m.}$$

2.2.4.2 DENSIDAD DE EDIFICACION

La estructura de la ciudad, la altura y la densidad de las edificaciones son de gran importancia en el comportamiento del viento (Santamouris, op. cit. 2001; Martilli, Schmitz, op. cit. 2007). La relativa contribución de los sucesos de viento de los niveles superiores en la fluctuación de la velocidad del viento en la microescala cambia cuando las rugosidades son diferentes (Inagaki, Kanda, 2007). Esta heterogeneidad de las superficies urbanas es particularmente significativa en los niveles sobre las edificaciones y muy próximo a la superficie urbana, donde existe un mosaico de cubiertas y las calles se presentan tridimensionalmente complejas (Roth, Salmond y Satyanarayana, 2004). Esto es definido por el tipo de tejido, su emplazamiento respecto de la ciudad y el programa de uso que los define.

Según esto podemos diferenciar (de acuerdo Grimmond y Oke, 1999c) al menos cuatro tipos de densidad edificada asociada a tipologías de tejido, usos de edificaciones, a espacios entre edificaciones y formas de espacio exterior:

1

El tejido de la periferia es un tipo de tejido con mucho espacio abierto y bajo, debido a que las edificaciones (aisladas unifamiliares) y los árboles son de baja altura y las calles son anchas. Este tipo se da también en los centros de comercio cercanos y a los polígonos industriales.

2

A diferencia, el espacio de crecimiento o ensanche es un tipo de tejido donde ya se conforman cañones urbanos y no existe tanto espacio abierto. Las edificaciones se agrupan o porean entre sí, estructurando bloques de viviendas o de uso mixto (negocios, viviendas, pequeña industria local), y definiendo a la vez espacios semicerrados o incluso cerrados. Los árboles son altos y la altura de las edificaciones fluctúa entre 2 y 4 pisos ocupando más del 30 % de la superficie del suelo.



Fig. 2.117 (a, b). a, Izquierda, imagen de tejido tipo 1; b, Derecha, imagen de tejido tipo 2. Fuente: Grimmond y Oke, op. cit. 1999c.

3

Los cascos antiguos son un tipo de tejido donde existe poco espacio abierto, corresponde a las zonas de los centros antiguos de la ciudad, con edificación continua y de altura mayor de 4 pisos, con árboles de altura similar.

4

Los centros urbanos modernos son tejido denso con un movimiento del aire de características caóticas debido a una rugosidad muy variada: la parte baja del tejido se caracteriza por edificación continua y sobre ella se caracteriza por la existencia de muchas edificaciones altas pero separadas unas de otras. Son claramente edificaciones contemporáneas modernas que albergan vivienda en altura y departamentos, oficinas o instituciones importantes.



Fig. 2.118 (a, b). a. Izquierda, imagen de tejido tipo 3; b. Derecha, imagen de tejido tipo 4. Fuente: Grimmond y Oke, op. cit. 1999c.

En estas diferencias morfológicas, al comparar el comportamiento del viento en situaciones edificadas de distinta densidad, el efecto de la variación de la altura sobre la Resistencia o roce aerodinámico C_d , es mayor cuanto más densa es el área edificada (Kanda, 2006).

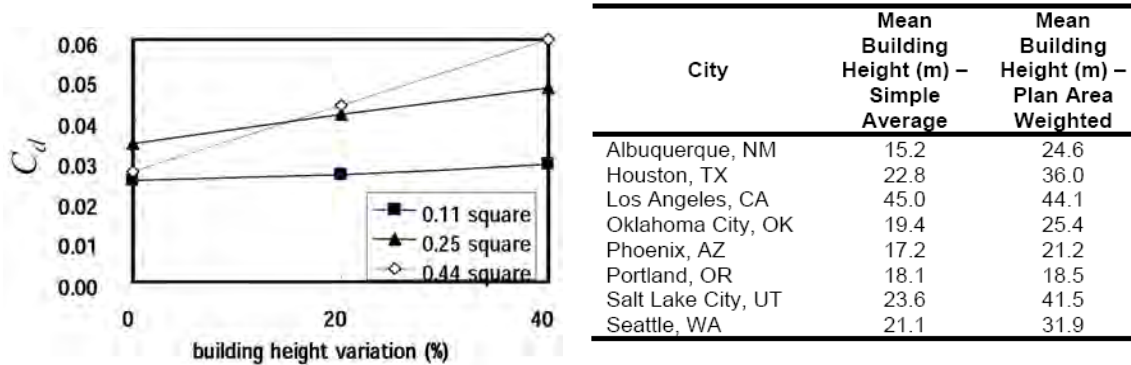


Fig. 2.119 Izquierda. La figura muestra que el área de mayor densidad, 0.44 (indicada en rombos), presenta un roce aerodinámico mayor, comparada con una densidad de 0.25 (triángulo negro) o una de 0.11 (cuadrado negro). Fuente: Kanda, 2006.

Tabla 2. Derecha. La altura edificada en los centros urbanos es más alta que en el promedio de la ciudad. Comparación de alturas medias edificadas en diversos centros de ciudades de USA. Fuente: Burian, et. al, 2004.

Normalmente la densidad de ocupación de suelo edificada, aumenta la "rugosidad" cuando hay una relación de heterogeneidad de alturas de las edificaciones entre si (Grimmond y Oke, op. cit. 1999c; Burian, S, et. al. 2002). Esta mayor heterogeneidad vertical de las edificaciones tiene mayores efectos sobre la velocidad promedio que una heterogeneidad o variación horizontal (Ken-ichi N., 2004).

Para una zona de borde de la ciudad, a nivel de suelo, es posible visualizarla como un frente que opone resistencia al viento que llega desde "fuera". Para evaluar los efectos de la geometría construida en el viento que llega horizontalmente a una zona de la ciudad, el índice de área frontal que ofrece resistencia aerodinámica se expresa en dos conceptos: el primero dice relación con la densidad de área que se enfrenta al viento. El segundo con la continuidad de esa densidad en el tejido. De igual manera, la densidad de ocupación del área, ya comentada, es ilustrativa de esta oposición al viento entrante a una zona.

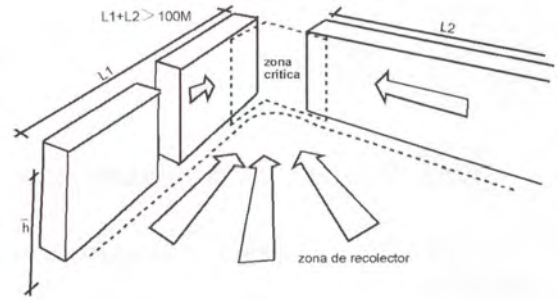
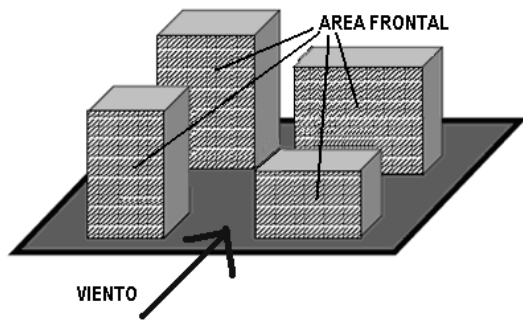


Fig. 2.120 Izquierda. Esquema de área frontal frente a un viento determinado. Fuente: Burian, S. et al, op. cit. 2002 (modificado).

Fig. 2.121 Derecha. Si las edificaciones presentan en su combinación, un ángulo abierto al viento, la zona crítica para el confort se presenta en el estrangulamiento. Fuente: Lavigne 2003.

La continuidad espacial de los lugares en los tejidos urbanos favorece la ventilación de los espacios de la calle y esto, el refrigerar los interiores de las edificaciones. La discontinuidad, favorece el mayor roce y una menor ventilación.

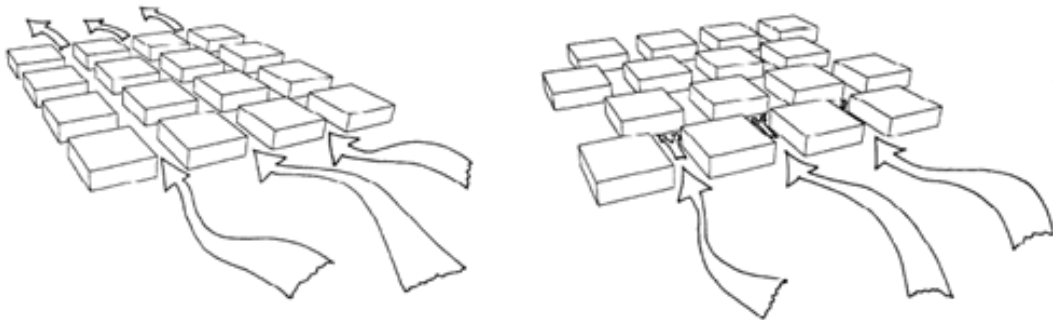


Fig. 2.122 Esquemas de las diferencias de movimiento del aire si la geometría de los cañones se presenta continua y alineada (izquierda) o alineada pero discontinua (derecha) respecto del viento principal. La primera presenta vientos más fuertes y que penetran en la trama; la segunda, un viento más suave y controlado. Fuente: Golany op. cit., 1996.

Ejemplo de estas dinámicas se aprecian en la ciudad de Tarragona y en Valparaíso.

En la ciudad de Tarragona, frente al mar, el diseño de los edificios combinados es abierto al viento del mar, pero traslapado, de tal manera que no se produce dicho efecto, pero si la entrada de viento y produciendo a la vez, una barrera compacta frente a él.



Fig. 2.123 Izquierda, Tarragona, edificaciones en el borde mar. Fuente: Claudio Carrasco.

Fig. 2.124 Derecha, imagen de Google Earth de la zona fotografiada a la izquierda. Las flechas grafican el movimiento del viento desde el mar. Se indica en círculo la zona del tejido espacialmente discontinua que favorece el roce, la disminución de la velocidad del viento y también el efecto Venturi.

En algunos puntos del frente marítimo de la ciudad de Valparaíso se produce un efecto similar.



Fig. 2.125 Izquierda, Imagen de Valparaíso en su frente borde mar. Fuente: Claudio Carrasco.

Fig. 2.126 Derecha, Imagen de Google Earth de la zona fotografiada a la izquierda. Las flechas grafican el movimiento del viento desde el mar. Se indica en círculo la zona del tejido espacialmente discontinua que actúa favoreciendo el roce y disminuyendo la velocidad del viento.

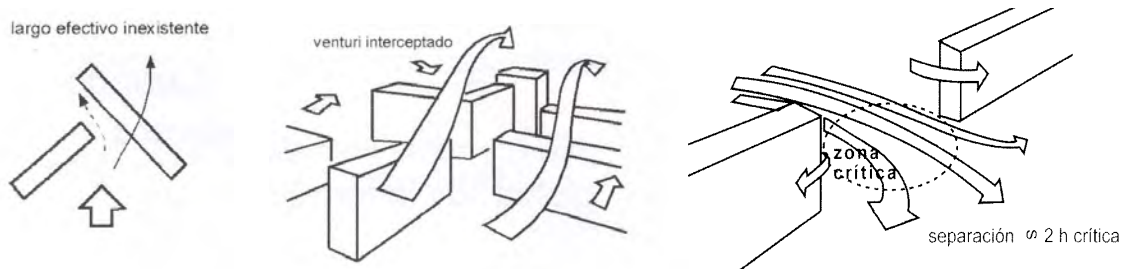


Fig. 2.127 a, b, c. Otros efectos que las edificaciones producen en el movimiento del aire. Fuente: Lavigne, 2003.

Las separaciones o aberturas en las barreras son zonas de corriente de viento, existiendo ciertas proporciones en que si la distancia entre las edificaciones es $2h$, el efecto barrera desaparece (Lavigne, 2003). La existencia de zonas de diferente presión, ordena el sentido del movimiento es hacia donde la presión es menor. Si la altura de los edificios aumenta, aumenta también el fenómeno, lo que sucede entre dos edificios de gran altura muy próximos entre si.

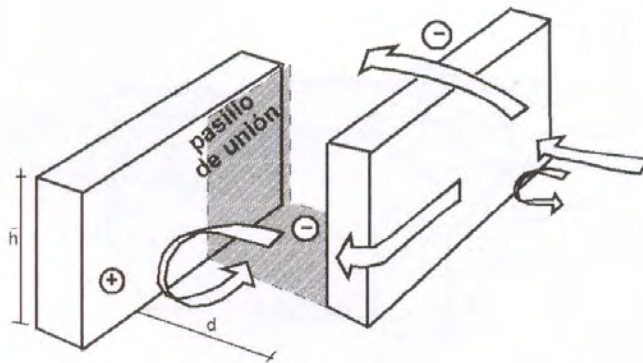


Fig. 2.128 Movimiento del viento entre edificaciones. Fuente: Lavigne, 2003.

El efecto más común es el de corredor como el que sucede en los cañones urbanos. Sin embargo, este fenómeno es alterado si las formas edificadas se retranquean favoreciendo la pérdida de carga, debido al aumento del roce.

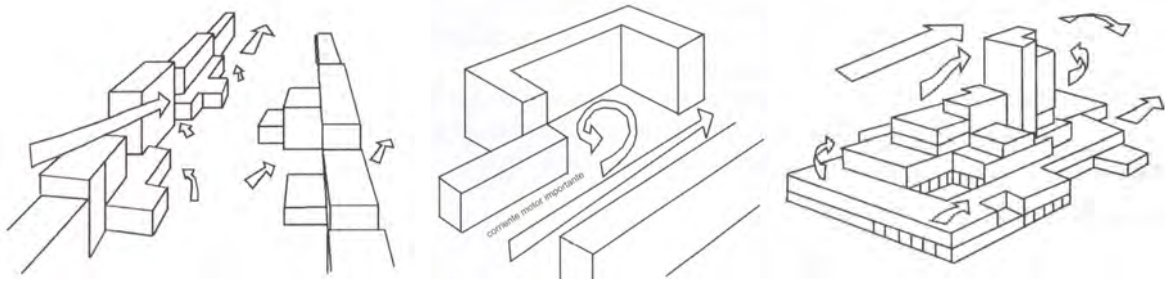


Fig. 2.129 A medida que se añaden elementos individuales al conjunto edificado, los fenómenos se modifican, apareciendo efectos "malla" o "pirámide". Fuente: Lavigne, 2003

2.2.4.3 PALABRAS FINALES

La medida de la velocidad y dirección del viento en las estaciones meteorológicas fuera de la ciudad o en los aeropuertos difiere considerablemente de las medidas en la calle. Se han desarrollado numerosos algoritmos y modelos que estiman las características del viento en la calle y sobre ella y que relación existe entre ambas.

Basados en la necesidad de ventilación en el espacio urbano, los modelos en escala microclimática han adquirido un gran valor al momento de estudiar el comportamiento del viento en la ciudad, en torno de los edificios y en los espacios de la calle (Kim, Jae-Jim y Baik, Jong-Jin, et. al. 2004). Así como los procesos de turbulencias y transferencias de masa y calor en el canopy urbano (Zajic, Princevac y Calhoun, op. cit. 2004).

Los modelos físicos evidencian el carácter estocástico de los fenómenos de viento urbano debido a la incertidumbre en los procesos atmosféricos y la necesidad de una cooperación cercana entre meteorólogos y expertos en aerodinámica de edificaciones (Plate, Kiefer y Wacker, op. cit. 2004). De esta forma, los estudios de túnel de viento y de modelos numéricos, físicos o matemáticos, son herramientas complementarias en el planeamiento urbano. Cada método presenta limitaciones, pero usando los modelos apropiados, meteorólogos, modeladores en túnel de viento y planificadores urbanos pueden trabajar en conjunto en la planificación actual (Plate, op. cit. 1999).

2.2.5 FORMA EDIFICADA Y RADIACIÓN EN EL ESPACIO URBANO

Incidencia de la forma edificada en el balance de radiación en el espacio urbano

Al final del siglo XX aproximadamente la mitad de la población mundial, sobre tres billones de personas, habitan las áreas urbanas. Las naciones unidas han predicho que este número se duplicará para el año 2025 y que dos tercios de la población vivirá en ciudades. Las ciudades crecerán y aparecerán otras nuevas, que alterarán significativamente el territorio extendiendo las cualidades climáticas de la urbe. El conocer, poder predecir y poder mitigar los efectos del clima urbano está íntimamente ligado con conocer los intercambios entre las superficies de la ciudad y de la calle con la atmósfera (Grimmond, et. al, 2004).

Para el estudio del clima urbano se debe considerar el balance de energía sobre áreas urbanas (Tejeda y otros, 2004). Debido a que la superficie urbana es una capa superficial con características propias de las áreas urbanas (Myrup, 1969; Carlson y Boland, 1978, Sugawara et. al., 2001), se ha determinado la importancia de la ciudad edificada en el comportamiento energético de su espacio, influenciando ésta en aspectos como:

- Una gran reducción de calor latente.
- Un aumento del flujo entrante durante el día al interior de los elementos materiales de cobertura y edificios (liberado en periodo nocturno), respecto de los materiales propios de la naturaleza.
- El flujo de calor sensible puede incrementarse mínimamente durante el día, pero aumenta significativamente después de la puesta del sol, manteniéndose durante toda la noche (Oke, 1999).

Debido a estas características, existe una serie de factores que influyen el clima urbano que dificultan su acabado conocimiento:

- La heterogeneidad de la atmósfera en el espacio de influencia del tejido urbano debido a la heterogénea forma geométrica y materiales del espacio urbano en la pequeña escala.
- La estructura del boundary layer es influenciado por la circulación local del viento, como la brisa del mar, así como la que la ciudad produce.
- El comportamiento de los habitantes de las ciudades produce una serie de efectos, entre ellos, el calor antropogénico que está relacionado con factores de tipo social como a la actividad o a la estructura del edificio y su impacto cambia continuamente debido a lo heterogéneo de estos tres factores.

Se han realizado un importante número de estudios respecto del balance energético de las áreas urbanas y de comparación entre éstas y las suburbanas y las rurales (Nunez y Oke, op. cit. 1977; Oke, op. cit. 1982; Cleugh y Oke, op. cit. 1986; Grimmond, 1992; Grimmond y Oke, op. cit. 1995, op. cit. 1999b; Oke, op. cit. 1999; Isalgué et. al. op. cit., 1998; Piringer, et. al. op. cit. 2002; Rotach op. cit. 2002; Garcia-Cueto, 2003; Yoshida et. al. op. cit., 1991; Offerle et. al., 2003; Lemonsu et al. 2004; Tejeda-Martínez y Jáuregui, 2005; Offerle et. al., 2005; Pigeon et. al. op. cit. 2007).

Estos estudios se han desarrollado en ciudades de distintos continentes y culturas y de distintas zonas climáticas como son Ciudad de México, Marsella, Chicago, Los Angeles (USA), Sacramento, Oklahoma City, Ouagadougou (Burkina Faso), Vancouver, Lodz, Basel, Tokio, Barcelona, etc. desarrollándose a partir de estos, diversos modelos de comportamiento energético urbano y métodos de cálculo de balance de superficie incluyendo promedio de forma espacial (Grimmond y Oke, op. cit. 2002), considerando puntos representativos (Johnson, 1991) y promedios de distintas zona urbanas (Mills, 1993; Masson, op. cit. 2000; Kusaka et. al., 2001; Martilli, op. cit. 2002).

En términos generales, un modelo energético urbano considera la suma total de la Radiación de onda larga y corta absorbida y como contraparte la onda larga emitida por los componentes de la superficie de la tierra (Oke y Fuggle 1972; Santamouris op. cit. 2001).

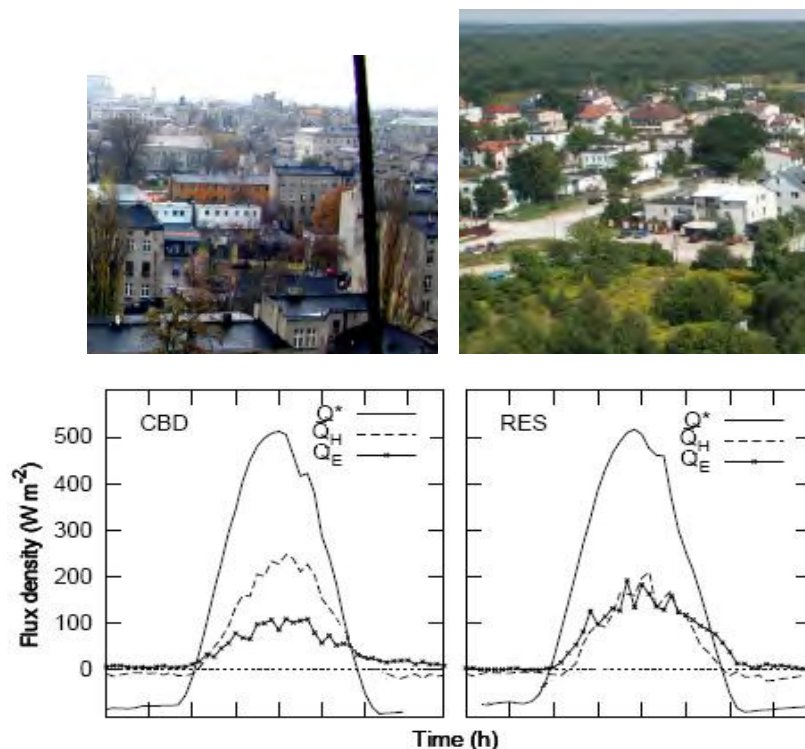
Para determinar la radiación de onda larga emitida por los edificios, la temperatura superficial específica depende de las características de cada material y del comportamiento de radiación de los interiores de lo edificado (Santamouris, op. cit. 2001). Estas características dicen relación con las propiedades de albedo que las fachadas y superficies urbanas presentan, así como del comportamiento antrópico productivo del uso de las edificaciones (los consumos energéticos interiores en calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, iluminación artificial y en los artefactos involucrados en el suceso interior), siendo el tipo de uso de los edificios el más incidente en el consumo energético interior (Isalgué, et. al. op. cit. 1998).

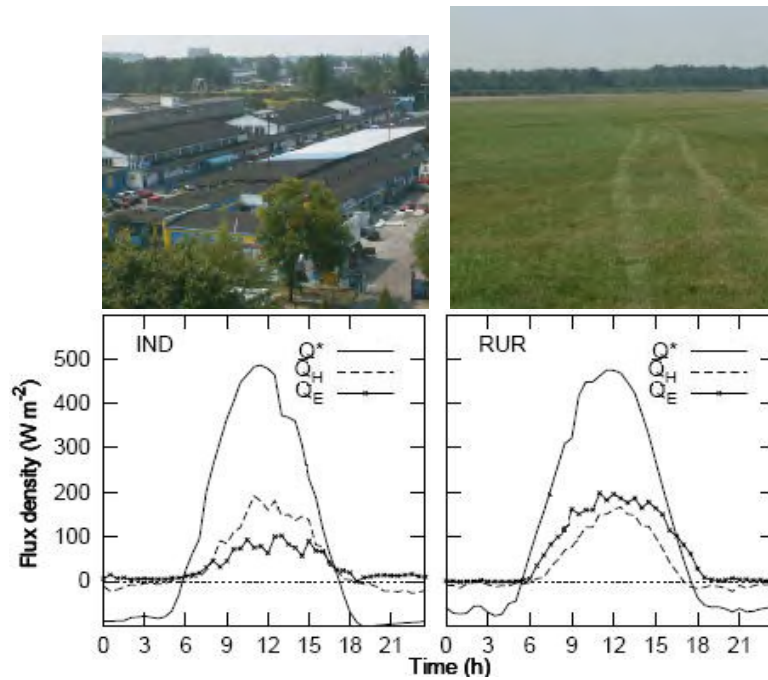
2.2.5.1 FORMA DEL TEJIDO EDIFICADO Y RADIACION EN MICROCLIMA URBANO

En los estudios de escala local o microclimática los flujos de calor sensible (Q_H), latente (Q_E) y el calor almacenado (ΔQ_s) son considerados en el balance energético superficial de las ciudades. Cada uno de estos parámetros varía espacial y temporalmente (Grimmond y Oke, op. cit. 2002) considerando la complejidad de los materiales y la morfología de la superficie urbana al comparar en contraste con las áreas rurales (Piringer et. al. Op. cit. 2002). Estas características están asociadas a tipologías de tejidos.

Respecto de los flujos de calor latente, estos son mayores durante el mediodía y más aún en las zonas donde la presencia de una cobertura vegetal es mayor. Así también son menores donde la cobertura mineral y la densidad poblacional son mayores.

Las siguientes imágenes muestran la relación entre tipologías de tejidos y comportamiento del balance de radiación, para la ciudad de Lodz, Polonia (Offerle, op. cit. 2005).

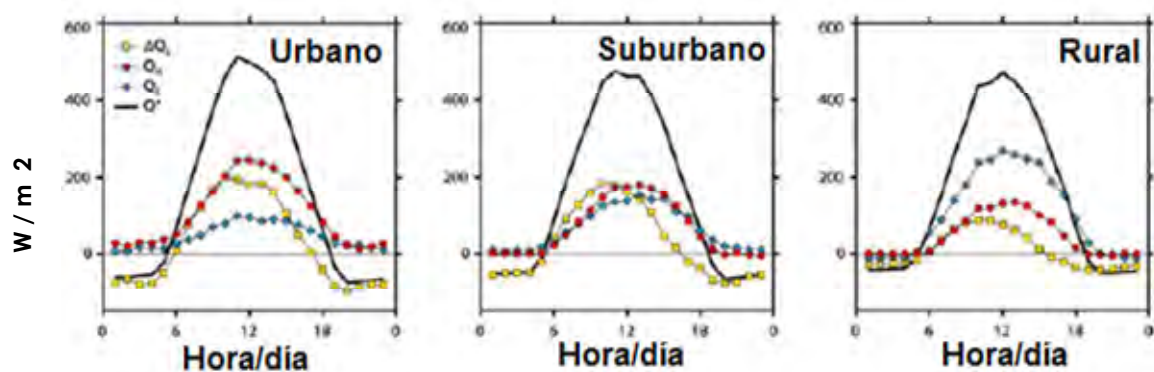




QH = calor sensible
QE = calor latente

Fig. 2.130 Estudio de la variedad de Flujos de Balance energético en diferentes topologías de tejidos urbanos en la ciudad de Lodz, Polonia. A cada fotografía le corresponde la imagen de gráfico inferior. Se distingue que el balance de radiación (Q^*) es positivo durante el día y negativo durante la noche, debido al calor almacenado en las superficies. Es decir, es liberado a la atmósfera, tomando mayor valor este proceso en la zona urbana definiendo el respectivo fenómeno de isla de calor nocturno. Fuente: Offerte op. cit. 2005.

Existe un balance de radiación positivo en el periodo diurno y uno negativo en el nocturno, siendo el ΔQ_s (el flujo de calor almacenado en el cañón de la calle) el que se libera durante la noche debido a sus condiciones descritas.



QH = calor sensible; QE = calor latente; ΔQ_s = calor almacenado

Fig. 2.131 Comparación de balance energético entre un área urbana (Sperrstrasse, Basilea), un área suburbana en torno a Basilea (Allschwil) y un área rural (Village Neuf) entre el 10 de junio y el 10 de julio de 2002. En las gráficas se aprecia que en la zona urbana, el calor sensible Q_H (línea de círculos) es mayor que el calor latente Q_E (línea de rombos) y en la zona rural es a la inversa, llegando a tener diferencias aproximadas de 150 w/m². Fuente: En Piringer et. al., 2004.

El albedo urbano es menor donde la emisividad (capacidad de un material para emitir energía radiante) es menor, donde es menor la vegetación y mayor la superficie construida (edificios y calles). Así también el albedo es mucho menor donde es mayor la densidad de edificaciones (Grimmond, 2005).

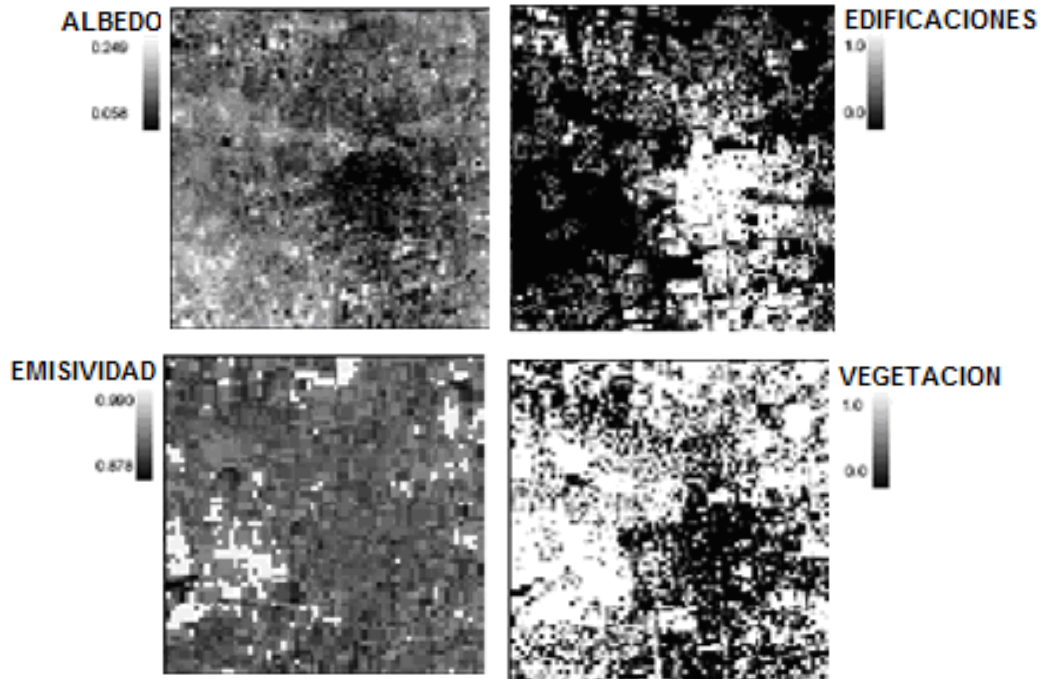


Fig. 2.132 Estudio de albedo, emisividad, vegetación y edificaciones para la ciudad de Lodz. Fuente: Grimmond, op. cit. 2005.

En términos generales podemos determinar algunas tipologías de tejidos desde el punto de vista del porcentaje, forma y materiales de cobertura de su superficie. Al definir cinco tipos de cobertura: edificada, pavimentados, superficies de agua, de vegetación y superficies de suelo (natural). Los centros de ciudad comportan el 90% de su superficie sellada y prácticamente no tiene suelo natural. Por el contrario, las zonas residenciales (periféricas), alrededor de un 50% de su superficie está sellada y un 50% de ella es suelo natural o vegetación.

% de superficie	Suelo	Vegetación	Agua	Pavimentada	Edificada
Centro Ciudad	0	10	0	40	50
Residencial	20	30	0	30	20
Zonas de vegetación	10	60	15	10	5
Industrial y Comercial	10	0	0	50	40
Residencial en altura	5	25	0	40	30

Tabla 2.7 Fuente: Guilloteau y Dupont (COST-715, 2000)

La relación entre calor sensible y calor latente es mucho mayor en el centro de la ciudad y en la zona de industria liviana que en las áreas residenciales suburbanas (Grimmond y Oke, 2001). Así también, el Flujo de calor sensible (Q_H) en la ciudad es más alto que en la zona rural y que el Flujo de Calor Latente (Q_E) es mucho menor. La energía almacenada en el espacio urbano es mayor que el almacenado en la zona rural y que el calor latente es mucho mayor en la zona rural.

2.2.5.2 GEOMETRIA Y ORIENTACION

La influencia de la geometría urbana sobre los procesos de radiación en el balance energético es una de las razones principales de la diferencia de temperatura entre la zona rural y la urbana (Harman et. al., 2004b). Esto puede explicar la transición aguda del clima en el borde de las ciudades (Oke, op. cit. 1987).

De acuerdo a la geometría de los distintos tejidos, el albedo de cada uno de está en función de la relación W_1 / W_2 , donde W_1 es el ancho de los elementos construidos como block y W_2 corresponde al espacio entre ellos o al ancho de la calle. Si consideramos una relación de cañón $H/W = 1$, el albedo es mayor, mientras mayor es W_1 respecto de W_2 , es decir si el espacio (superficie) entre los edificios (W_2) es menor que la superficie ocupada por los volúmenes edificados.

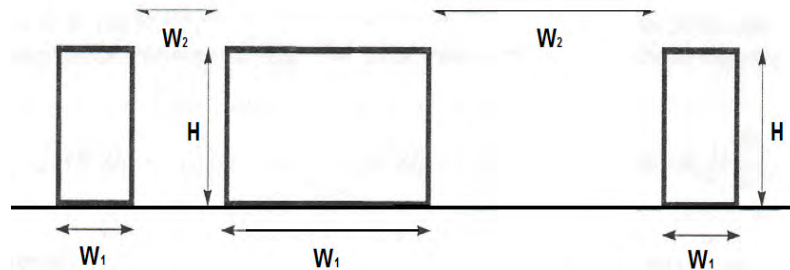


Fig. 2.133 Distintas relaciones entre ancho edificado y ancho de espacio entre edificaciones. Fuente: Aida y Gotoh, 1982, modificado de A.A.V.V. Santamouris, op. cit. 2001.

En un espacio horizontal, sin obstrucciones es posible tener un 100% de visibilidad de cielo. En una calle las posibilidades son menores.

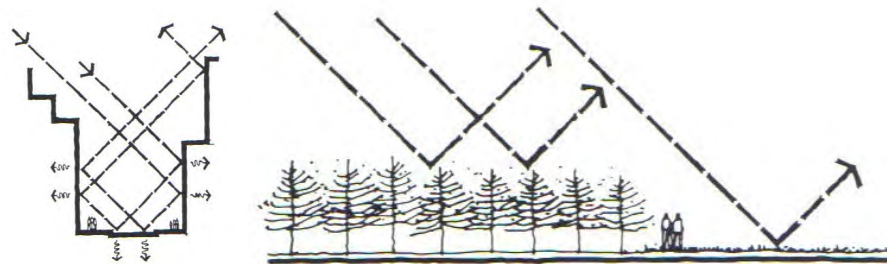


Fig. 2.134 Esquema de la reflexión de la radiación solar en el espacio del cañón urbano.

Fig. 2.135 Esquema de la reflexión de la radiación solar en una zona de bosque o campo abierto. La radiación solar se refleja inmediatamente hacia el cielo. Fuente: Lowry, en Hough, op. cit. 1998.

Más aún si el tejido corresponde a edificaciones de altura mayor como los centros urbanos. A medida que la proporción del cañón (alto / ancho) disminuye, aumenta, evidentemente, el factor de cielo visible y esta relación junto a un viento suave el período nocturno, favorece una mayor radiación de longitud de onda larga (Oke, op. cit. 1988).

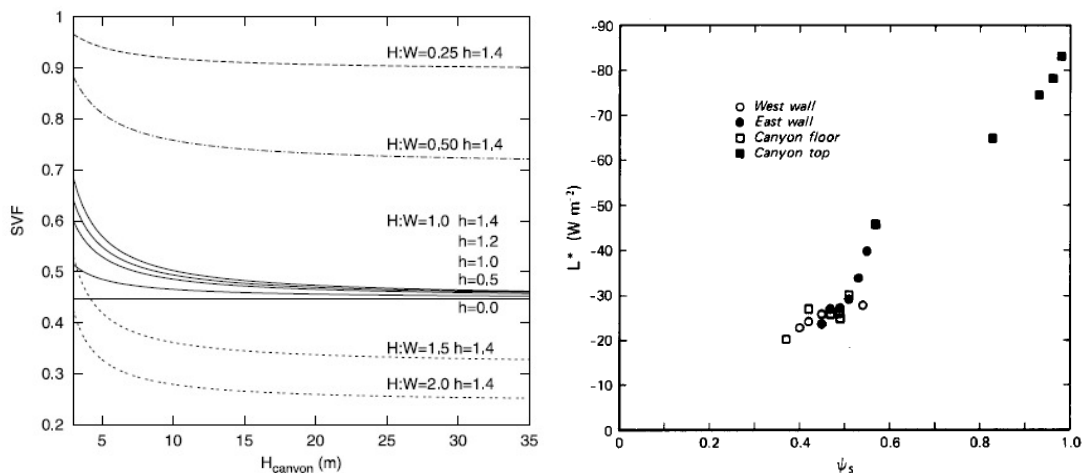


Fig. 2.136 Izquierda. Relación entre Factor de cielo visible (SVF) y la relación H/W respecto de diferentes anchos y alturas de cañón. Fuente: Grimmond, 2001.

Fig. 2.137 Derecha. Relación entre Radiación y cielo visible en el cañón urbano. Con viento suave en el período nocturno, existe una mayor radiación de longitud de onda larga a medida que el SVF es mayor. Fuente: Oke, op. cit.1988.

Por otra parte, la orientación de la calle también es determinante en el comportamiento del albedo diferenciándose en mayor medida el comportamiento de los perfiles, a medida que presentan un mayor ángulo zenit (Aida y Gotoh, op. cit. 1982).

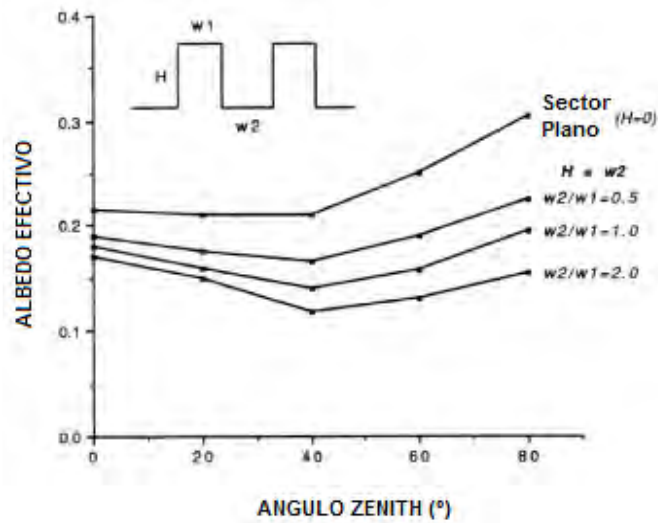


Fig. 2.138 Gráfica de la relación entre albedo efectivo v/s la orientación de la calle, considerando variable la relación W2/W1, donde W1 es el ancho de los elementos construidos como block y W2 corresponde al espacio entre ellos o al ancho de la calle. Fuente: Aida y Gotoh, op. cit. 1982.

Las superficies de muro de las edificaciones y también las superficies de pavimentos tienen una importante participación en el intercambio energético (Mestayer, 2004), debido a que aportan un flujo de calor adicional almacenado o liberado. En este proceso conjunto, el aire en movimiento en la calle es muy importante, más aún si lleva la dirección de la calle, como facilitador del intercambio energético de las superficies (Nunez y Oke, op. cit. 1977).

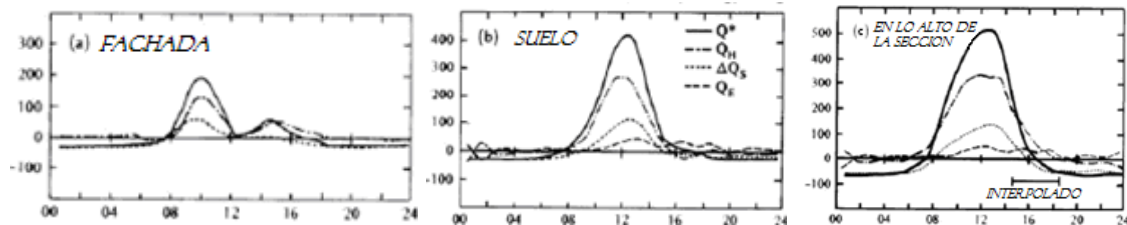


Fig. 2.139 Relación de Balance Energético en fachada orientada al este, suelo y cañón urbano (sistema general). En eje y Radiación (w/m2) y en eje x la hora del día. Fuente: Nunez M., Oke, T. R. op. cit. 1977 (adaptado).

La geometría del cañón y su proporción caracteriza este proceso también en el periodo nocturno: A mayor factor de cielo visible, menor es la diferencia entre fachadas opuestas durante la noche (Santamouris, op. cit. 2001).

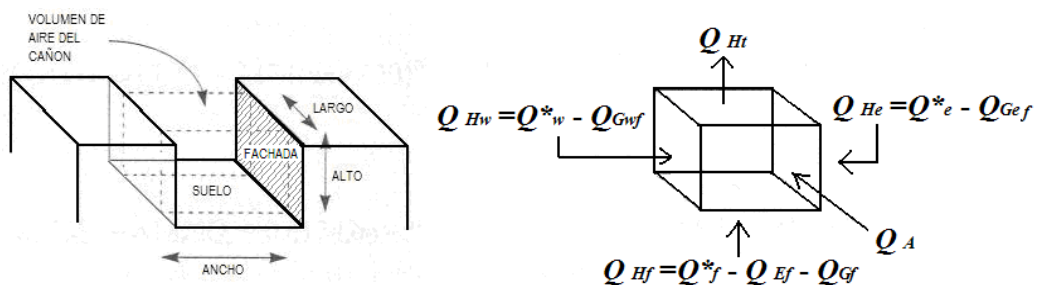


Fig. 2.140 Esquemas del volumen de aire en el cañón urbano y del Balance energético en la superficie del cañón. Fuente: Oke op. cit. 1978; Santamouris op. cit. 2001 (adaptado).

Dependiendo de la latitud de emplazamiento y momento del día, fachadas opuestas en una calle de dirección oriente poniente, pueden llegar a tener una gran diferencia de temperatura de radiación por recibir o no radiación solar directa y a nivel de suelo podrían presentar diferencias de temperatura menores que en los niveles altos porque la incidencia de la radiación solar es mucho menor en los niveles inferiores de las fachadas.

En el estudio realizado por el autor en la localidad de Vilassar de Mar (Latitud 41° 30' 15" N.), se determina que para un mismo lugar de emplazamiento, al mediodía, los muros con orientación sur (orientados mirando perpendicular al sur), presentan mayor temperatura radiante que los demás elementos conformantes del espacio del lugar. En todos los casos en que existían muros con orientaciones opuestas, ejemplo SSE y NNO, la temperatura radiante del muro orientado al norte es menor a la del orientado al sur.

La mayor temperatura de radiación, la presentan los muros con orientación SEE; luego los con orientación SOO o SO; luego los con orientación E, los con orientación NNO y finalmente los con orientación NEE o NE (Carrasco, 2002).

	DESCRIPCION ELEMENTOS MURO	DESCRIPCION MATERIALIDAD	ORIENTACION MUROS Indicando dirección normal al muro	TEMP. RADIAC. °C a: 1,20 m.
CASO				
4	muro patio	Albañilería de piedra	SSE (150°N)	18.8
5	vivienda	Albañilería de piedra	SSE (150°N)	22
9	vivienda	granito pulido rojo	SO (220° N)	21.3
1	muro viviendas	madera	SOO (235°N)	15.7
1	muro viviendas	Albañilería	NEE (+ 60° N)	11.6
9	muro vivienda	Albañilería	NE (40°N)	10.6

Tabla 2.8 Cuadro resumen de los casos representativos de estudio de comportamiento microclimático en calles de Vilassar de Mar, 2002. Fuente: Carrasco, 2002.



Fig. 2.141 Imágenes de situaciones de calles estudiadas. Vilassar de Mar, 2002. Fuente: Carrasco, op. cit. 2002.

2.2.5.3 ALBEDO URBANO

La temperatura superficial es determinante para el balance de energía superficial. El estudio de la temperatura de superficie en la calle se rige por el balance térmico global (Santamouris op. cit. 2001, Yap, 1975). Es decir, un material recibe radiación de onda corta proveniente del sol y emite radiación de onda larga de acuerdo a sus propiedades.

Esta radiación corresponde al de radiación electromagnética, que Strahler (op. cit. 2005) define como una "forma ondulatoria de energía irradiada por cualquier sustancia que posea calor; viaja a través del espacio a la velocidad de la luz". El albedo corresponde a la radiación solar reflejada por una superficie (integrada sobre todas las longitudes de onda) respecto de la radiación solar incidente sobre esa misma superficie (integrada sobre todas las longitudes de onda). Es un número porcentual y varía según los materiales, su color, contenido de humedad, de materia mineral y orgánica. Disminuye en la medida que aumenta su contenido de humedad y de materia orgánica y, de acuerdo al color, las superficies claras poseen un albedo mayor que las oscuras. El término nace del latín "albus", que quiere decir luz blanca o color pálido.

Las superficies reciben radiación de onda corta en función de su capacidad de absorción y exposición a la radiación solar, recibe y emite radiación de longitud de onda larga en función de su temperatura, su emisividad y al factor de visibilidad, transferencia de calor hacia o desde el alrededor y el intercambio de calor con los materiales de las capas más bajas a través del proceso de conducción (Coch et. al., TAREB, <http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/tareb/>).

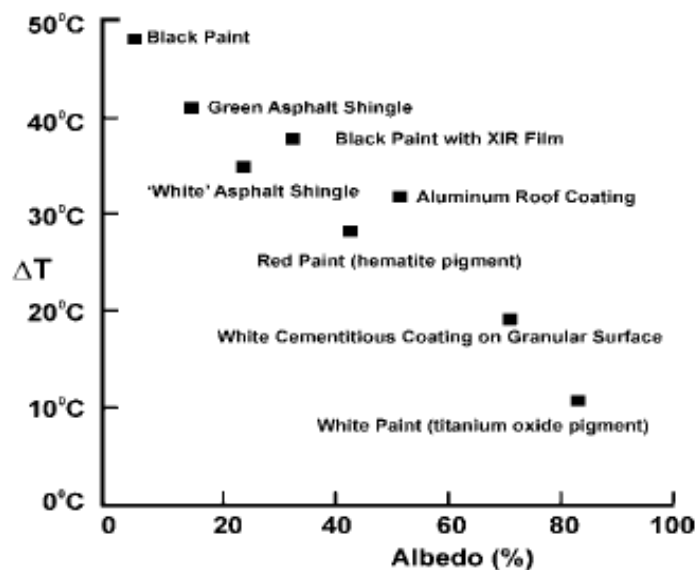


Fig. 2.142 Relación entre la diferencia de temperatura entre superficie y aire sobre la superficie y el albedo de algunas pinturas y materiales de cubierta, expuestas al sol. Fuente: Rosenfeld A.H. y otros, 1995.

Los materiales con alta emisividad son buenos emisores de energía de onda larga, pero además liberan la energía absorbida en radiación de onda corta. Un albedo alto en los materiales de los edificios y la calle reduce la radiación solar absorbida por la ciudad. Así, la temperatura baja de las superficies contribuye a la disminución de la temperatura del aire debido a que la intensidad de la convección del calor en las superficies frías es lenta (Santamouris, op. cit. 2001).

La superficie urbana es heterogénea a pequeña escala y grandes variaciones de temperatura superficial suceden en muy corta distancia (Voogt y Grimmond, 2000).

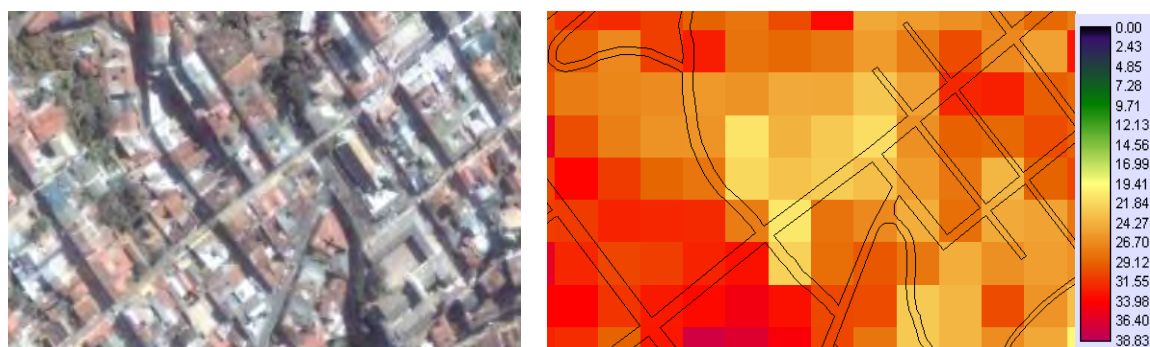


Fig. 2.143 Izquierda, imagen de un área de Valparaíso que forma parte de la zona de estudio de esta investigación. Fuente: Google Earth.

Fig. 2.144 Derecha, imagen de temperatura de superficie en invierno (17 de julio 2007, 10:27 hrs.) de la misma área, usando imagen Landsat. Se muestra la temperatura de superficie de las cubiertas y los suelos de las calles. Se superpone a la imagen satelital un plano de calles del sector y se aprecia la variación de la temperatura de superficie en la zona, considerando que cada cuadrado corresponde a la temperatura media de una superficie horizontal de 25 x 25 m. Fuente: Elaboración propia a partir de imagen Landsat del 17 de julio de 2007 a las 10:27 hrs. facilitada por CONAE, Argentina y utilizando software IDRISI ANDES (demo) y ARCGIS 9.3.

La gran variedad de materiales de acabado superficial se manifiesta en la alta variación de albedo y emisividad de las superficies urbanas. Se muestra a continuación albedo y emisividad típicos de algunos materiales presentes en la superficie terrestre.

Tipo de suelo	Albedo (α)	Emisividad (ϵ_{IR})
Tierra/cemento	0,05-0,40	0,90-0,98
Desierto	0,20-0,45	0,84-0,91
Césped	0,16-0,26	0,90-0,95
Suelo agrícola	0,15-0,25	0,90-0,99
Bosque	0,15-0,20	0,97-0,98
Agua	0,03-0,10	0,92-0,97
Nieve	0,40-0,95	0,82-0,99
Hielo	0,20-0,45	0,92-0,97

Tabla 2.9 Resumen de Albedo y emisividad característico de tipos de cobertura de suelo. Fuente: Garreaud y Meruane, U. de Chile, 2005.

Se observan a continuación características térmicas típicas de algunos materiales usados en la edificación de la ciudad:

MATERIAL	DENSIDAD	CAPACIDAD		CONDUCTIVIDAD		ALBEDO
		TERMICA		TERMICA		
	(ρ) $\text{kg m}^{-3} \times 10^3$	$\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1} \times 10^6$		$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$		
Suelo arcilla seco	1.6	1.42		0.25		
Suelo arcilla saturado	2.0	3.1		1.58		
Asfalto	2.11	1.94		0.75		0.2
Concreto denso	2.4	2.11		1.51		
Cubierta Alquitrán/grava	0.05	1.0		0.15		

Tabla 2.10 Resumen de Albedo y emisividad característico de tipos de cobertura de suelo urbano. Fuente: Mills, 1997, Voogt, 2004 y Oke, T.R. op. cit. 1987.

La ley de Stefan Boltzman indica que el calor emitido por radiación de un cuerpo depende de la característica de emisividad (ϵ = coeficiente de emisividad), de la temperatura superficial y de la constante sigma. Corresponde a $\epsilon \times \sigma \times T^4$.

ϵ da una idea de que tan buen emisor es un material. Este factor varía de 0 a 1; mientras más cerca está de 1, tiende a ser mejor emisor.

TABLA DE ALBEDO Y EMISIBILIDAD TÍPICOS DE ALGUNOS MATERIALES USADOS EN EDIFICACIÓN Y OTROS EXISTENTES EN EL ESPACIO URBANO

ELEMENTO URBANO	Albedo	Emisividad	ELEMENTO URBANO	Albedo	Emisividad
Calle			Pasto seco	0.3	
Asfalto (fresco 0.05 - antiguo 0.2)	0.05-0.2	0.95	Pasto	0.16-0.26	0.90 - 0.95
Muros			Pasto largo a corto	0.16-0.26	0.9 - 0.95
Hormigón	0.10-0.35	0.94	Suelo promedio	0.3	
Piedra	0.20-0.40		Suelo húmedo a seco	0.05 - 0.4	0.98 - 0.90
Piedra blanqueada	0.8		Arena seca	0.20-0.30	76
Mármol blanco	0.55		Suelo arenoso	0.2-0.25	
Ladrillo coloreado claro	0.30-0.50		Plantas hoja caduca	0.20-0.30	
Ladrillo rojo	0.20-0.30	0.9	Bosque hoja caduca	0.15-0.20	0.97 - 0.98
Ladrillo oscuro	0.2		Bosques, coníferas	0.05-0.15	
Piedra caliza	0.30-0.45		Suelo cultivado	0.2	
Grava	0.72	0.28	Arena húmeda	0.10-0.20	
Cubiertas			Bosque de coníferas	0.10-0.15	
Asfalto liso	0.07		Madera (roble)	0.1	
Alquitrán con grava	0.08-0.18		Madera (Nueva Plantación)		
Baldosas	0.10-0.35		Suelo cultivado (noche)	0.07-0.10	
Pizarra	0.1		Pasto artificial	0.05-0.10	
Paja	0.15-0.20		Hierba y paja de hojas	0.05	
Acero corrugado	0.10-0.16		Nieve Fresca	0.75-0.9	
Cubierta alta reflexión después de un tiempo de instalada	0.6-0.7		Nieve vieja	0.35-0.7	
Tejas de Cemento		0.63	Hielo	0.6	
Concreto	0.10-0.37	0.71 - 0.91	Agua Profunda	0.05-0.2	
Acero Galvanizado Brillante	0.35	0.13	Agua	0.03 - 0.1	0.92 - 0.97
Papel de Aluminio Brillante	0.85	0.04	Arcilla Húmeda	0.16	
Pinturas			Arcilla Seca	0.23	
Blanca, deslavada	0.50-0.90		Nubes gruesas	0.70-0.95	
Rojo, café, verde	0.20-0.35		Nubes finas	0.2-0.65	
Negro	0.02-0.15		Cal	0.45	
Pintura Aluminio	0.8	0.27-0.67	Yeso	0.55	
Pintura negra sobre aluminio	0.04	0.88	Granito	0.12-0.18	
Pintura blanca sobre aluminio	0.8	0.91	Piedras	0.2-0.3	
Pigmento Blanco	0.85	0.96	Duna, Arena	0.2-0.45	
Pigmento Gris	0.03	0.87	Algodón	0.20-0.22	
Pigmento Verde	0.73	0.95	Gramma verde	0.26	
Urbano, medio	0.15				
Otros					
Cobertura de arena clara	0.40-0.60				

Tabla 2.11 Albedo típico de materiales de uso urbano y de zonas urbanas. Fuente: Oke, 1983; Martin, 1989; Bretz, 1992; Stull, 2000; Garreaud y Meruane, 2005.

Se observa los valores menores de albedo para algunos materiales de edificación como asfalto y hormigón. En términos generales el albedo de los materiales usados en edificación fluctúa entre 0.05 y 0.3.

Además, la variación espacial y temporal de las condiciones de radiación sobre las superficies edificadas significa que estas comportan variabilidad en su temperatura de radiación, lo que a su vez determinaría una variabilidad del flujo de calor. Los techos y pavimentos soleados presentan altas temperaturas de radiación y los elementos sombreados, baja, como muestra la imagen termográfica, lo que a lo largo del día sufre importantes variaciones.

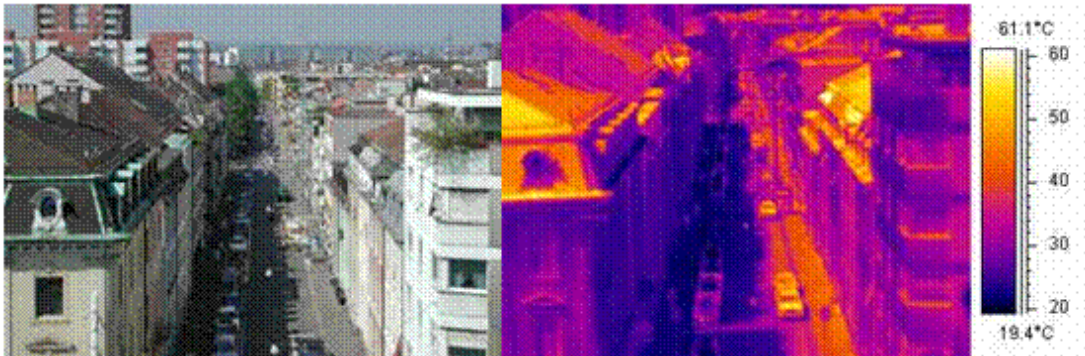


Fig. 2.145 Imagen fotográfica de una calle en Basilea, Suiza. Junto a ella una termografía de la misma calle a la misma hora. Fuente: <http://www.geog.ubc.ca/~toke/ResearchProjects.htm>

Los materiales naturales presentan frente al calor latente y al calor sensible una relación en que a medida que aumenta su superficie, disminuye el valor de la relación entre ambos. Cuando existe una cubierta vegetal en la ciudad, a mayor cobertura vegetal, menor flujo de calor sensible y mayor flujo de calor latente, como muestra la figura.

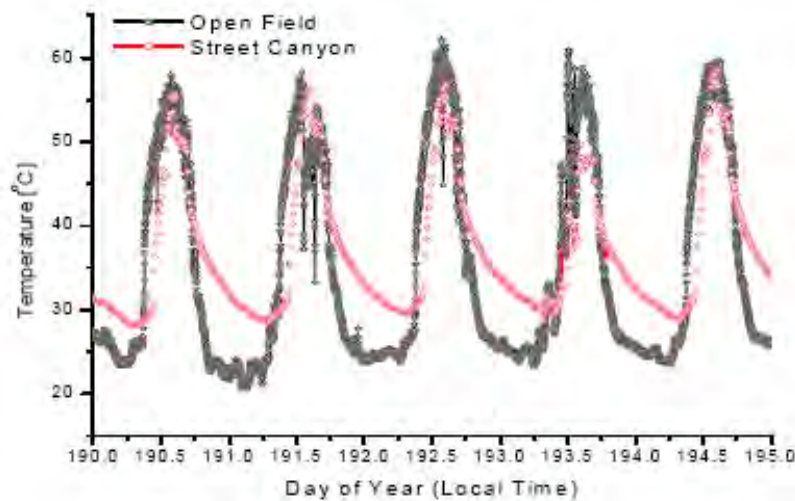


Fig. 2.146 Variación diaria de la Temperatura de superficie medida en Park Avenue y en un espacio abierto con suelo vegetal durante un período de 5 días de verano. La temperatura mínima en el espacio abierto es al menos 5 grados menor a la de Park Avenue. En esta última la vegetación facilita la presencia de calor latente. Fuente: Zajic, Fernando Princevac y Calhoun, 2004.

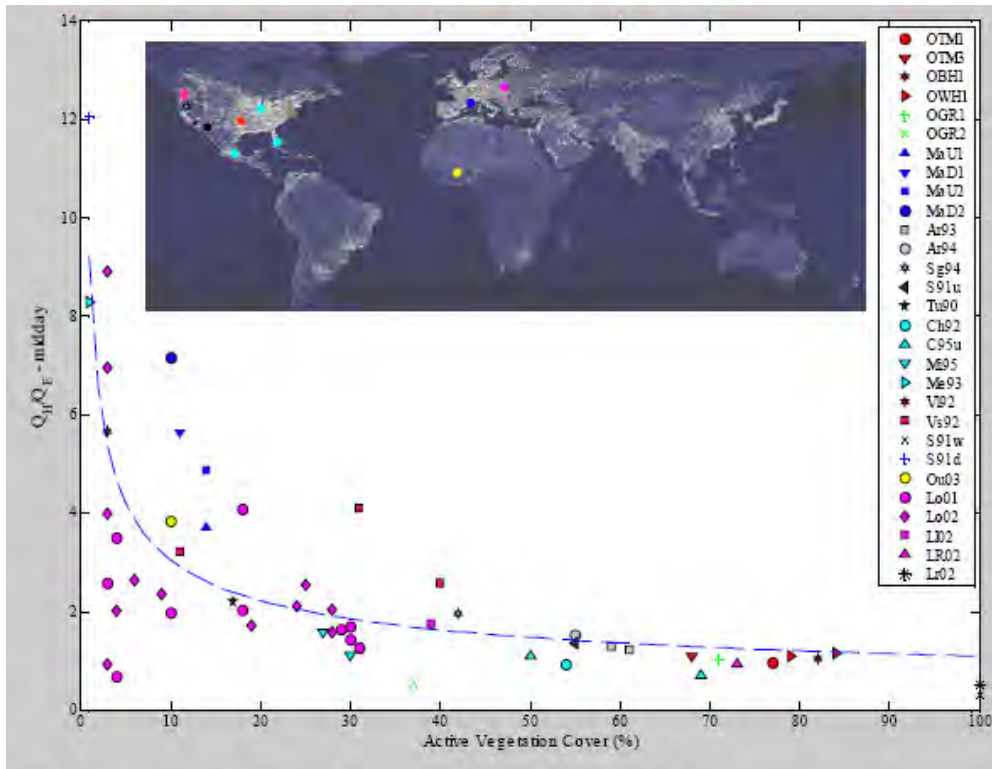


Fig. 2.147 El gráfico explicita que la relación media entre Q_H / Q_E (Q_H flujo de calor sensible, Q_E el flujo de calor latente) tiene una inversa relación con la cobertura vegetal activa urbana. En la imagen se indican ciudades como Basilea, Marsella, Houston, Vancouver, entre otras. Las superficies vegetales e irrigadas ejercen un importante control sobre el Q_E . Fuente: Grimmond y Oke, op. cit. 2002.

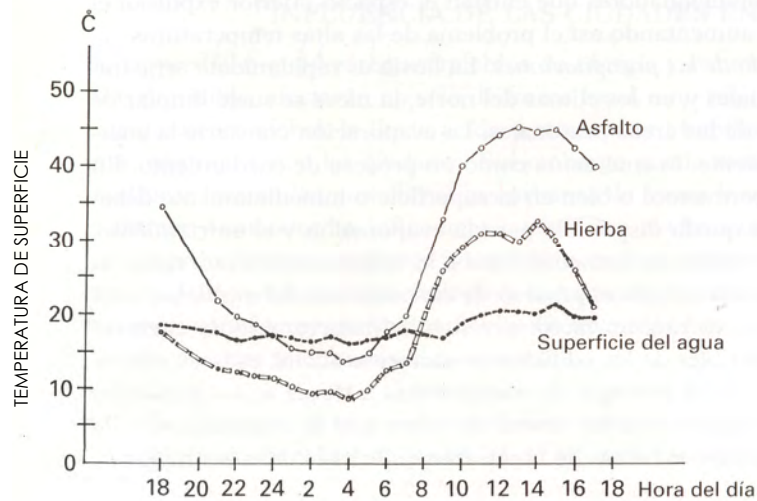


Fig. 2.148 Variación de la temperatura de superficie de distintos materiales. Fuente: Meiss 1979, en Hough op. cit. 1998.

Estas características individuales son unificadas a nivel de tejido urbano o de ciudad. El albedo típico de las ciudades Europeas y Norteamericanas es cercano a 0.15 – 0.30 (Taha, 1997). En las ciudades del Norte de África existe un albedo mucho mayor debido al tipo de materiales más naturales y a su conformación espacial de edificaciones más bajas y ocupación menos densa. El albedo global es menor cuando hay mayor densidad de ocupación de suelo con edificaciones y mayores alturas debido a que las superficies internas que constituyen el cañón (forma edificadas y materiales) modifican la reflexión, entorpeciéndola y disminuyendo la relación entre radiación solar reflejada por las superficies con respecto a la radiación solar incidente sobre ellas.

2.2.5.4 PALABRAS FINALES

Podemos distinguir, en el balance energético y los flujos de radiación en la ciudad, que los elementos urbanos participan de la siguiente manera:

EXPRESIÓN EN BALANCE ENERGÉTICO	CARACTERÍSTICA URBANA	EFECTO URBANO
Aumento de K^*	Geometría del cañón	Aumento de superficies y multiplicación de reflexión
Aumento de L^- de cielo	Polución del aire	Mayor Absorción y Reemisión
Disminución de L^*	Geometría del cañón	Reducción del factor de Cielo Visible
QF	Edificaciones y tráfico	Aumento de calor
Aumento de Q_S	Materiales de edificación	Aumento del almacenamiento térmico
Disminución de Q_E	Materiales de edificación	Aumento de impermeabilidad
Disminución de $Q_H + Q_E$	Geometría del cañón	Reduce la velocidad del viento

Tabla 2.12 Efecto de la geometría urbana en el balance de energía. Fuente: Oke, T.R. op. cit. 1982.

En el espacio urbano, normalmente seco, la radiación neta es disipada principalmente como calor sensible, seguida por el calor almacenado. El calor latente que favorece la evaporación de zonas de vegetación es pequeño. En el espacio rural, el calor sensible disminuye considerablemente comparado con el urbano.

Debido al Albedo menor de los espacios urbanos y de sus superficies, comparativamente con los espacios rurales, hay una menor pérdida de radiación solar en las áreas urbanas favoreciendo la formación de isla de calor.

Para la estimación del calor almacenado en la estructura urbana se ha de poner atención en:

- La forma geométrica. La relación del alto y ancho del cañón urbano y el factor de cielo visible, que corresponde a la porción de la bóveda celeste visible sin obstrucción física de ningún objeto.
- La heterogeneidad del espacio y edificaciones urbanos.
- La emisividad superficial y el albedo de los materiales debido a que afectan el albedo urbano, la emisividad y los parámetros de las propiedades térmicas.
- Propiedades térmicas de las superficies de origen humano.
- Las propiedades aerodinámicas y de rugosidad.

Los variados microclimas urbanos se desarrollan en espacios pequeños o en torno de un edificio dentro de la ciudad, pero en su conjunto producen el clima sobre un área. Es necesario continuar desarrollando modelos de balance energético tanto para pronosticar comportamientos climático, como de consumo de energía y su uso en planificación urbana (Kusaka y Kimura, op. cit. 2004), como una mejor y mayor comprensión y observación de la información de la atmósfera urbana y conjuntamente un aumento de la capacidad de los ordenadores (Masson, Grimmond y Oke, 2002). La comprensión de los procesos físicos de la atmósfera del espacio de la calle permitirá medir la relación que existe entre la forma y materiales del espacio de la calle y el comportamiento climático y el tiempo que en ello sucede; así como el impacto de la forma urbana sobre el confort térmico y la habitabilidad a nivel de calle.

2.2.6 FORMA EDIFICADA Y CONSUMOS DE ENERGÍA EN EL ESPACIO URBANO

Incidencia de la forma y materiales del tejido urbano en los consumos de energía

Como apartado especial nos referiremos a las consecuencias de consumo de energía en la ciudad a partir de las definiciones de forma y materiales del tejido urbano, su relación con los consumos de energía de las edificaciones y también la consumida en movilidad como parte del metabolismo urbano.

A modo de ejemplo, se muestra la distribución de consumos de energía en algunas ciudades europeas. Se distingue que es en los espacios residenciales donde se consume el mayor porcentaje.

CIUDAD	RESIDENCIAL (%)	COMERCIAL (%)	INDUSTRIAL (%)	TRANSPORTE (%)	TOTAL (Gj/per capita)
Berlín	33	29	15	23	78.1
Bolonia	36	21	11	32	67.3
Bruselas	43	29	5	23	94.7
Copenhagen	48	26	6	20	78.16
Hanover	28	25	26	21	112.43
Helsinki	34	23	9	34	89.5
Londres	36	24	11	29	89.1

Tabla 2.13 Porcentaje de consumo de energía por sector y per cápita en algunas ciudades Europeas. Fuente: ICLEI, 1993; LRC, 1993; IBGE, 1993, en <http://www.learn.londonmet.ac.uk>.

2.2.6.1 ENERGIA ORIGINADA EN LAS EDIFICACIONES

Souza, Pedrotti y Leme (2004) asocian geometría urbana del cañón, factor de cielo visible y orientación de la calle. Determinan que una mayor temperatura del aire en el cañón se asocia a un mayor factor de cielo visible y a un mayor promedio de consumo energético al interior de los edificios.

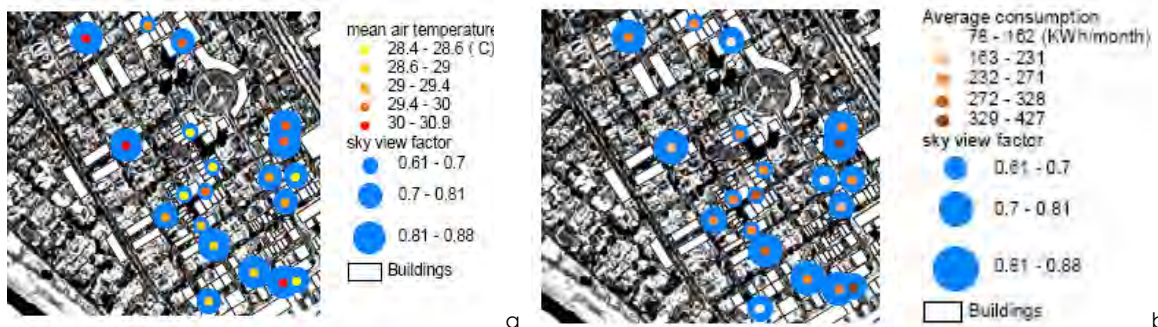


Fig. 2.149 (a, b) a. Izquierda. Relación entre temperatura del aire y factor de cielo visible; b. Derecha. Consumo de energía y factor de cielo visible. Estudia para la ciudad de Bauru, Brasil. Fuente: Souza, Pedrotti, Leme, op. cit. 2004.

Las necesidades de confort climático se muestran en la siguiente gráfica. Se aprecia que a medida que nos alejamos del rango de confort climático aumenta la demanda de energía, siendo mayor cuando la temperatura es más baja. De igual manera se aprecia una demanda de energía mayor a medida que aumenta la temperatura del aire, aumentando los requerimientos de aire acondicionado en los interiores.

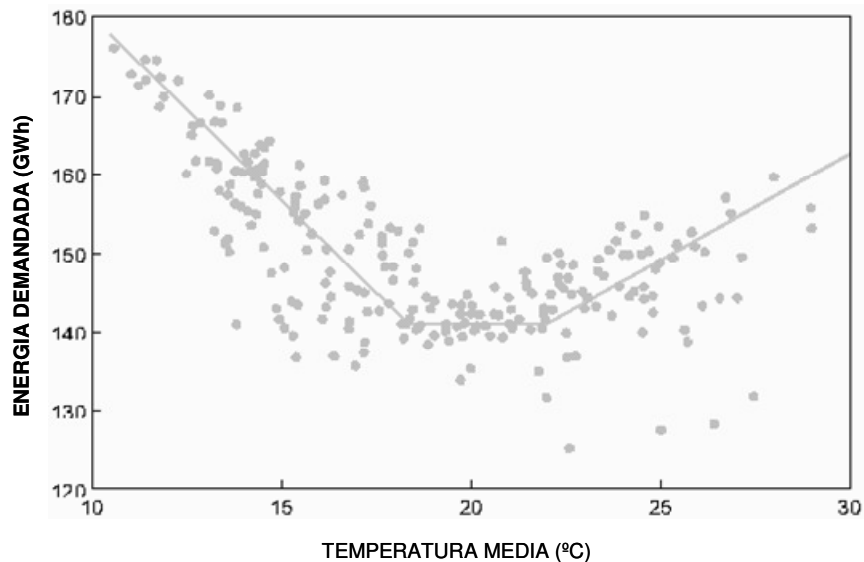


Fig. 2.150 Gráfica de la relación entre temperatura media del aire y la energía demandada, en la ciudad de Sydney, entre 1990 y 1991. Fuente: http://www.bom.gov.au/climate/environ/design/design_a.shtml

El proceso energético del edificio calienta el aire del espacio urbano favoreciendo los procesos de formación de isla de calor, lo que incrementa a su vez el uso de energía en ventilación mecánica en los mismos edificios. Dado que el consumo de energía interior está en función de la variación de la temperatura exterior, es necesario conocer la temperatura máxima y mínima y los m² edificados (Sailor y Lu, 2004), para así determinar el impacto de las edificaciones.

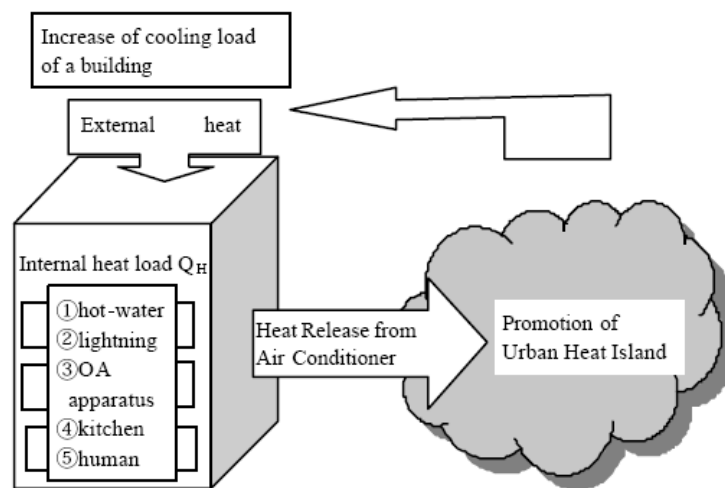


Fig. 2.151 Esquema del proceso energético en un edificio en la actualidad. Fuente: Ooka et. al., 2004.

Oleson (et. al. op. cit. 2007) plantean que el total del calor irradiado por los edificios, debido a calefacción o refrigeración, depende de la energía requerida para mantener la temperatura entre un mínimo de 291,2 K y un máximo de 297,6 K. Sabiendo la media del flujo de calor desde los edificios, la capacidad calórica y los espesores del mismo, es posible conocer la temperatura superficial exterior (Grimmond, 1992), que como vimos, es determinante en la temperatura del aire de la calle.

Ratti, Baker y Steemers (2005) asocian al consumo de energía en las edificaciones, la geometría urbana, el diseño del edificio, la eficiencia de los sistemas y el comportamiento de los ocupantes. Isalgúe (et. al. op. cit 1998) consideran que es definido por factores

arquitectónicos (características constructivas y de diseño del edificio), de tipo de uso del edificio (vivienda, oficina o mito), ocupación (referida a la densidad de ocupación) y al perfil del usuario, determinando que el tipo de uso es el más incidente en el consumo de energía del edificio.

2.2.6.2 FORMA DEL TEJIDO Y ENERGIA DE MOVILIDAD

La relación tipologías edificatorias y consumos energéticos en movilidad fue estudiada por Newman y Kenworthy (1989). Determinan que a menor densidad habitacional, mayor es la demanda de combustible en transporte. Así, ciudades extensas, de baja densidad como muchas ciudades de Estados Unidos aparecen con un consumo mayor que las densamente pobladas de Oriente. La densidad de habitantes determina también la distancia de los trayectos recorridos: a mayor densidad, menor es la distancia de los trayectos recorridos en vehículo, lo que significaría un menor consumo de combustible (Mann, 1996).

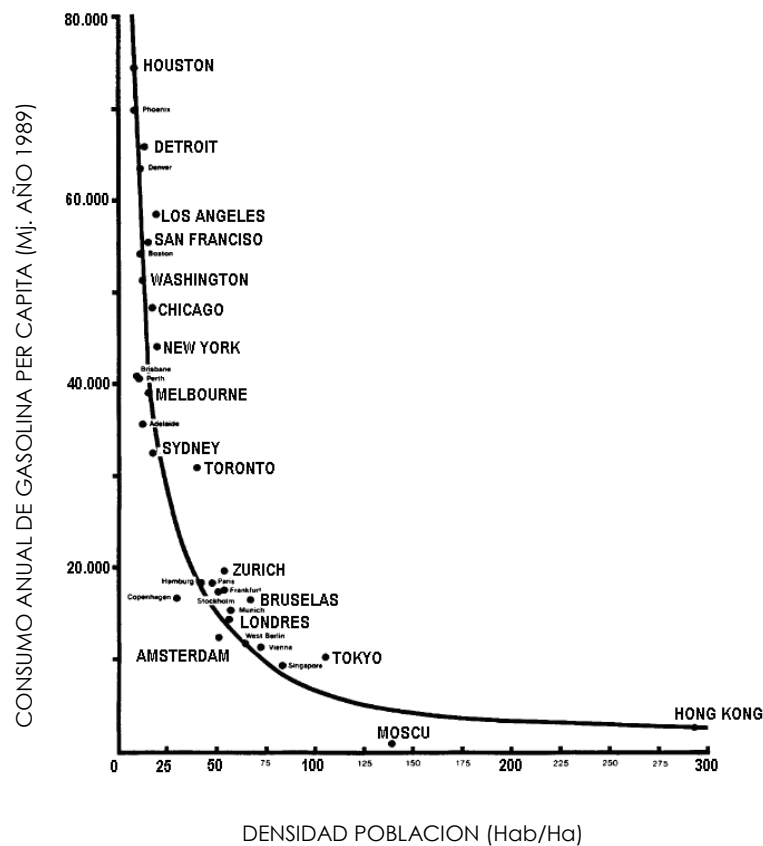


Fig. 2.152 Gráfica de la relación Densidad de Población y Consumo de gasolina para diversas ciudades. Se distingue que a menor densidad existe un aumento exponencial de consumo. Fuente: Newman y Kenworthy, 1989

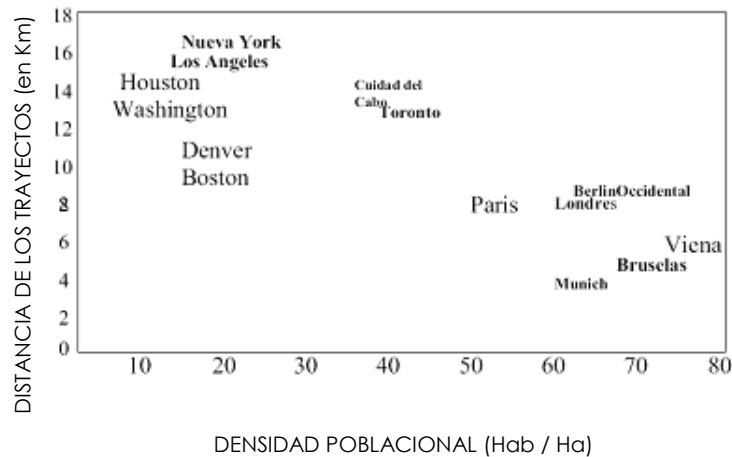


Fig. 2.153 Gráfica de la relación Densidad de Población y Distancia media del trayecto de recorrido urbano. Se distingue que a menor densidad de población aumentan los trayectos de recorrido. Fuente: Paul Mann, 1996, en Vanderschuren y Galaria, 2003.

ÁREA	CONSUMO DE GASOLINA (lts/hab)	DENSIDAD (hab/Ha)
Zona externa	1718	13.1
Toda el área urbana	1268	20
Franja interna	579	119.4
Ciudad central	341	251.1

Tabla 2.14 Ejemplo de consumo de energía en movilidad en la ciudad de Nueva York, de acuerdo a la variación de la densidad poblacional, Fuente: Gower, 1989.

Una ciudad consume menos energía en transporte a medida que aumenta su densidad poblacional. Al respecto, Sailor y Lu (op. cit. 2004), asignan al tráfico la responsabilidad del 50 % del flujo de calor antropogénico y basado en observaciones de cañones de proporción H/W = 3. Este tránsito emite vapor de agua, que aumentaría los valores de humedad del aire (Holmer y Eliasson, 1999). Westerholm y de Wijk (1996) estiman un promedio de emisión del vapor de agua de 180 gr. por kilómetro y considerando un tráfico uniforme en el área edificada: la media de la emisión sería 0.36 gr/ m² h.

El tráfico vehicular también tiene efectos en el movimiento del aire y produce turbulencias (Kastner-Klein y Clark, 2003). Los efectos locales, vórtices, afectan la dispersión de la radiación térmica y de los contaminantes producidos, como lo muestra la siguiente figura:

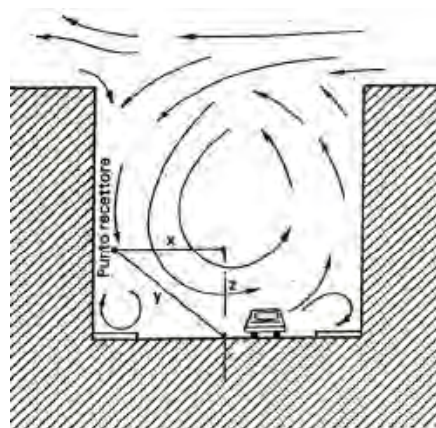


Fig. 2.154 Esquema de circulación del aire en una sección de calle considerando la presencia de vehículos. Fuente: Ricciardi e Iezzi, 2006.

Finalmente podemos decir que existe una relación directa entre consumo de energía y energía irradiada por el suceso urbano. De esta forma el impacto antropogénico (QF) corresponde a la suma de las radiaciones de uso vehicular, de las edificaciones y del metabolismo humano (Sailor y Lu, op. cit. 2004):

$$Q F = Q V + Q H + Q M$$

1 QV: calor a partir de la movilidad vehicular, que está en función de la gasolina usada, el número de vehículos que viajan en el área, la distancia de viaje y el rendimiento del vehículo (km l⁻¹). Es posible considerar un rendimiento típico. Whitford (1984) define un rendimiento de 11,253 km l⁻¹.

2 QH: calor desde las edificaciones a partir del uso de electricidad y de gas. Se ha de determinar el consumo por habitante y se ha de determinar el tipo de edificación.

3 QM: calor por metabolismo animal diferenciando dos períodos en el de origen humano: en un horario activo y en uno pasivo, que se correlaciona con los horarios de trabajo, estudio, comercio, etc.

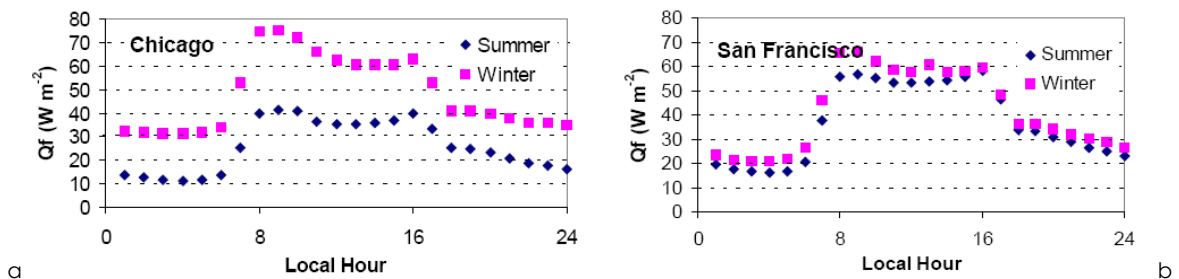


Fig. 2.155 Gráfico de la radiación de calor antropogénico en dos ciudades de Estados Unidos durante el invierno (a) y durante el verano (b). Fuente: Sailor y Lu, op. cit. 2004.

2.2.7 CONCLUSION PARCIAL. PALABRAS FINALES

Podemos decir, de acuerdo a la bibliografía revisada:

1 Que la urbanización produce cambios radicales en la naturaleza de la superficie y las propiedades atmosféricas de la región. Tiene que ver con la transformación de sus características radiativas, térmicas, higroscópicas y aerodinámicas. De ahí que afecte los balances energéticos e hidrológicos, que ocurren de manera natural (Oke, op. cit. 1987; Jáuregui, op. cit. 2004).

2 Que existe una gran variación de las condiciones meteorológicas en toda la ciudad, diferencia marcada mayormente entre el centro y la periferia. Existe también grandes diferencias de formas edificadas y de tejidos de diferentes características, lo que genera dificultades para conocer los sucesos climáticos del espacio urbano, en particular el balance energético, al ser altamente complejos (Harman et. al. 2004a; Grimmond, et. al. op. cit. 2004). "No existe una sola superficie que intercambie calor con la atmósfera, sino que son varias y a diferentes alturas, con diferentes orientación y con diferentes propiedades térmicas. En particular las varias orientaciones de la superficie urbana (techos, muros, calles) generan fenómenos de reflexión y "atrapamiento radiativo", que modifican las tasas de calentamiento y enfriamiento. Además, hay que considerar las emisiones de calor antropogénico" (Martilli, 2006), lo que complejiza los modelos.

3 Que las modificaciones del clima en la ciudad son generalmente que en ella existe mayor temperatura del aire que en la periferia. El calor en la ciudad está muy influenciado por la cantidad de área edificada con materiales propios de la ciudad moderna caracterizándola como seca; muy diferentes a los de la zona rural.

4 Que la geometría edificada condiciona de manera importante el microclima en la calle.

5 Que el albedo es un importante parámetro térmico de la ciudad. Existe una relación entre la rugosidad superficial, las propiedades térmicas y el albedo de las áreas urbanas que sería la razón de las modificaciones locales y puntuales del clima a partir de la modificación del balance de energía, donde los perfiles de comportamiento del viento, la temperatura y la humedad del aire son modificados.

Los estudios de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento y radiación descritos, ponen de manifiesto las variables del espacio urbano que los determinan.

El microclima urbano es consecuencia de las energías que actúan sobre un lugar, sean estas naturales o de origen mecánico y, por la manera como se presenta, es posible estudiar de manera aislada cada parámetro climático nombrado y modelarlos con cierta independencia, determinando los elementos y sus relaciones, propios para cada situación urbana.

Estos parámetros climáticos (de estado atmosférico) actúan conjuntamente, aunque físicamente actúan sobre diferentes mecanismos de eliminación de energía del cuerpo. Por ejemplo la intensidad sensible de las cargas radiantes solares de la onda larga depende de la velocidad del viento, de la temperatura y de la humedad, al igual que de la ropa que lleva la gente y la actividad que lleva a cabo, entre otras. Cuanta más alta es la temperatura y la humedad y más baja es la velocidad del viento, mayor es la sensación física de calor producido por la carga radiante. La radiación solar directa que afecta a la gente en un espacio al aire libre se puede reducir mediante factores como la geometría solar y la temperatura parcial del material utilizado (López de Asiaín, 2001).

Asumiendo diferencias entre las características atmosféricas del aire de la calle entre los edificios y el que está sobre los edificios y llamado domo urbano, en el espacio de la calle se albergan una gran variedad de microclimas generados de acuerdo a las distintas configuraciones urbanas, las condiciones naturales del entorno, su geometría y sus materiales. Y como una característica importante podemos decir que el aire se presenta climáticamente más homogéneo en el espacio del domo urbano que en el espacio de la calle en la ciudad (Oke, 1976; Santamouris, op. cit. 2001).

Sabemos también que, si bien los flujos turbulentos están determinados por la relación intrincada entre la superficie y la capa de atmósfera sobre la ciudad (Boundary layer), ni la primera ni la segunda están perfectamente definidas (en los modelos). Por una parte, es difícil la observación de la atmósfera de la Boundary layer y por otra, de acuerdo a la clasificación espacio temporal de los fenómenos turbulentos del tiempo atmosférico en el espacio urbano de la calle (Orlanski 1975; Yoshino, op. cit. 1975), la cantidad de variable y la complejidad de estos modelos necesitarían un soporte de ordenadores que en la actualidad no es posible conseguir.

Diferentes modelos basados en parámetros físicos se desarrollan con la incorporación de modelos predictivos del clima mesoescalar o local y microclimático. La mayoría de ellos

considera el sistema urbano como estructuras de cañones (Masson, op. cit. 2000), aunque también es considerado como un bloque en algunos modelos (Kawai y Kanda, 2003). Las consideraciones de la superficie urbana a partir del modelamiento de cañones urbanos significa mayor complejidad a las simulaciones (Best, 1998; Vu, 2002).

Las escalas climáticas definen el "elemento urbano" y el "contexto" del elemento urbano por lo tanto al definirlo de mejor manera aumenta el número de variables físicas que participan en el modelado. En estos estudios y modelos se han incorporado procesos estadísticos que consideran la relación y la evolución de los flujos y variables de estado atmosférico. Esta incorporación de nuevos parámetros en los modelos significa mayor requerimiento computacional (Grimmond et al., 2007).

Harman (2003) presenta esquemáticamente esta clasificación de modelos:

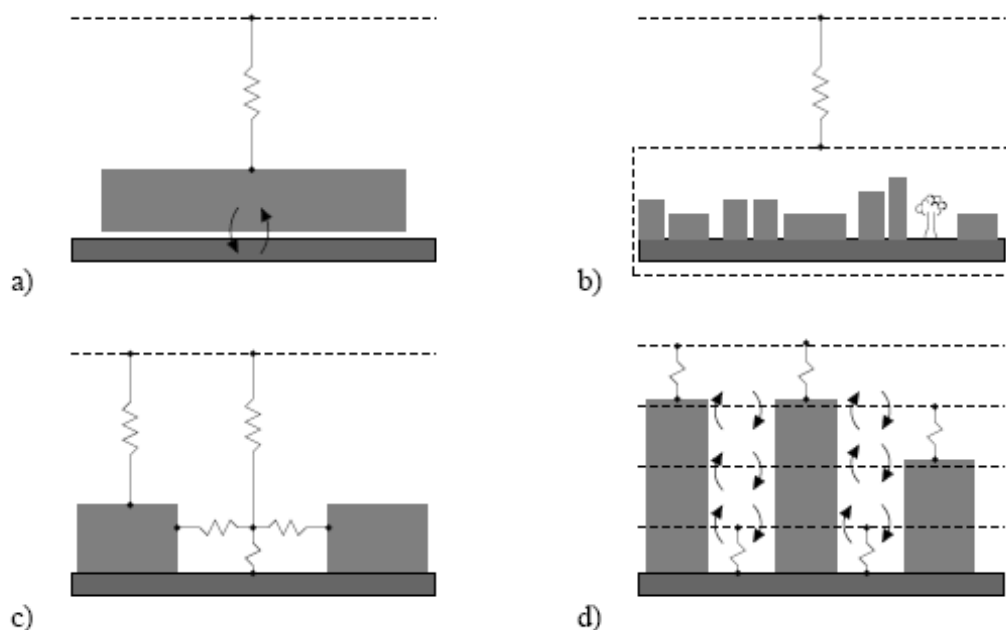


Fig. 2.156

a) Modelo de bloque macizo. Best, M. J. (op. cit. 1998).

b) Modelo de volumen promedio. Grimmond, C. S. B., Cleugh, H. A., y Oke, T. R. (op. cit. 1991).

c) Modelo simple de cañón urbano. Masson, V. (op. cit. 2000).

d) Modelo complejo de multicapas del cañón urbano. Martilli, A. (2002).

Fuente: Harman, 2003.

Los modelos físico - matemáticos revisados respecto de la incidencia de la geometría en el comportamiento microclimático están referidos fundamentalmente a las características morfológicas de ésta. Por otra parte, varios de estos modelos aparecen inicialmente demasiado complejos a los ojos de los diseñadores de espacio, por tanto es importante la visualización de un tipo de modelo que considere los elementos propios del diseño del espacio de la calle, para poder entender de que manera, estos afectan su comportamiento climático y el del tejido urbano donde se encuentran y de que manera influyen en la percepción climática del mismo.

Los modelos morfológicos se presentan como una herramienta útil a partir de la definición de elementos del espacio urbano, sus dimensiones y sus materiales. Son elementos propios del diseño, que desde el punto de vista arquitectónico aparecen de fácil entendimiento.

2.2.8 MODELOS CLIMATICOS MORFOLOGICOS

Si nos referimos a que una arquitectura ha de ser de bajo impacto ambiental, debemos hacer referencia a que sólo es eficaz si la emplazamos dentro de un marco de una planificación urbana fundada en principios similares considerando una gestión del clima en esos tejidos tanto desde el punto de vista del uso del espacio público (urbano) como del ahorro energético en el uso de los edificios.

En el caso del clima mediterráneo que nos ocupa en esta investigación, hay una alta valoración de disfrutar el espacio exterior, como un rasgo cultural, de su condición climática y de su paisaje. Esta definición formal del mismo denota esta valoración. Las calles y plazas y las edificaciones valoradas culturalmente incluyen numerosas técnicas que amortiguan el rigor de los meses de verano²⁸ utilizando espacios intermedios, vegetación, elementos de agua, etc. En este sentido el espacio público perimetral adquiere también una alta valoración.

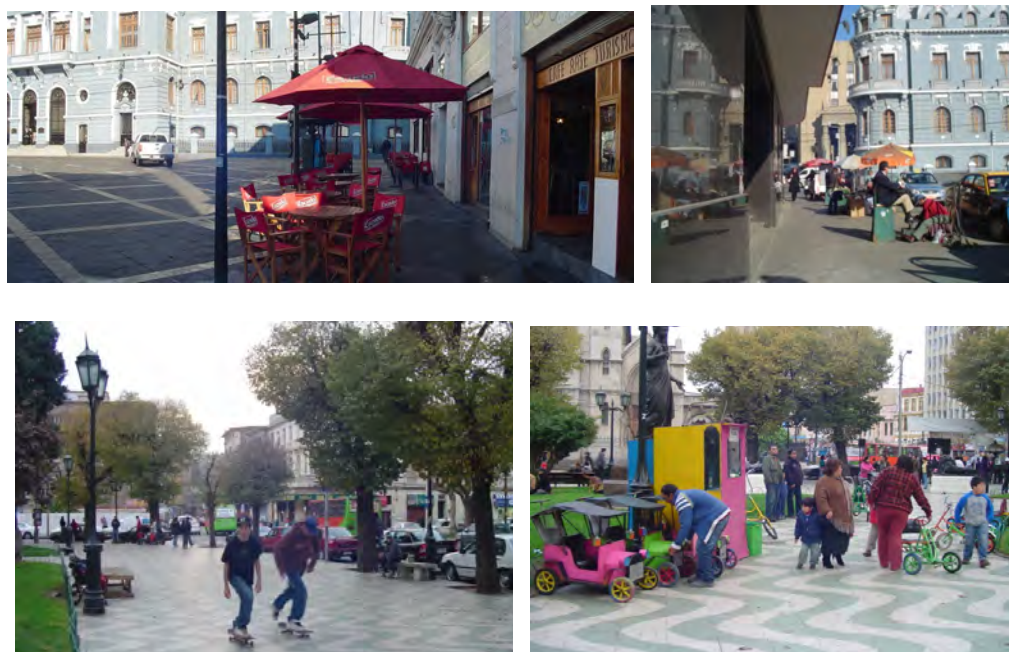


Fig. 2.157 Imágenes de espacios públicos en Valparaíso. Fuente: Karen Fierro

Al valorarse el espacio urbano peatonal, cobra interés el diseño de los lugares con energías naturales. "Si aceptamos esta realidad, el espacio urbano se constituye en espacio de circulación personal a escala y dimensión del peatón; en espacio de estar, reposo y disfrute; en lugar de convivencia y encuentro donde el sentido social y colectivo adquiere su plenitud...el espacio urbano se constituye en el lugar donde se produce el espectáculo humano..."²⁹, finalmente confortable.

²⁸ Guerra, J.; Alvarez, S.; Molina, J.; Velásquez, R. Guía Básica para el acondicionamiento climático de espacios urbanos. Junta de Andalucía, CIEMAT. Universidad de Sevilla, 1994.

²⁹ López de Asiain, J. Arquitectura, Ciudad, Medioambiente. Universidad de Sevilla, Consejería de Obras Públicas y Transporte. Sevilla, 2001.



Fig. 2.158 a, Izquierda, Ponte Vecchio en Florencia; b, Derecha, Vereda bordeando un canal en Venecia. Fuente: Claudio Carrasco.



Fig. 2.159 a, Izquierda, Terrazas en Plaza San Marcos en Venecia; b, Derecha, Espacio peatonal en Bergamo. Fuente: Claudio Carrasco.



Fig. 2.160 Paseo Mirador Gervasoni en Valparaíso. Fuente: www.valparaisochile.cl

Los espacios de ciudad los podemos diferenciar en "calle" y "plaza", que dentro de un tejido urbano definen una trama urbana: "La calle organiza la distribución de los terrenos, y comunica cada una de las parcelas. Tiene un carácter más utilitario que la plaza. La plaza debido a su amplitud, predispone, más que la calle, a detenerse"³⁰. Invita al descanso y a la vida social y comunitaria. En este sentido, la plaza aparece como una modificación de la calle.

En el sistema urbano, hemos revisado que los edificios se relacionan entre sí desde el punto de vista energético, generando modificaciones climáticas, de cantidad de luz, etc. determinando zonas urbanas de climas diferentes. En este sentido, la trama urbana incluye aspectos combinados de energía y masa en su balance final. A Esta complejidad se asocia una serie de subsistemas, de características físicas y funcionales muy diferentes entre sí, que estarán participando de esta diversidad microclimas (Ochoa, op. cit. 1999). Algunas maneras de enfrentar cualitativamente el análisis de estos espacios y estas diferencias climáticas entre ellos, se presentan a continuación.

³⁰ OCHOA, J. M. Op. Cit.

2.2.8.1 MODELOS CUALITATIVOS DEL CLIMA URBANO

Diversos autores en las décadas recientes se han planteado frente al comportamiento climático urbano y los elementos morfológicos del paisaje de la ciudad (McHarg, 1967; Givoni, 1976, Oke, op. cit. 1978, et. al., 2001; Serra y Coch, op. cit. 1995; Higuera, 1997; López de Asiaín 1997; Hough op. cit. 1998; Olgyay, op. cit. 1998; Bustos Romero, 1998, 2001; Ochoa, op. cit. 1999; Santamouris, op. cit. 2001; Peña y Romero, 2005; Roaf, 2005). Sus estudios consideran factores que participan en la conformación del microclima en la ciudad, en sus condiciones térmicas y energéticas, que permiten diferenciar el suceso climático en pequeña escala del suceso circundante, con el fin de valorar los elementos y sus relaciones en favor de un confort bioclimático. Revisaremos a continuación algunos de ellos.

Ochoa y Serra, (1998), definen que la trama urbana determinaría el comportamiento microclimático a partir de sus definiciones de localización del tejido, la forma del tejido urbano, los límites físicos del mismo y los elementos internos del tejido/sistema. Estas características modifican las condiciones climáticas "originales" del lugar, en sus parámetros de Temperatura del aire, de Variación de la temperatura, de Velocidad del aire, de Dirección del viento, de Humedad absoluta y de Radiación solar sobre un plano vertical. Esto ocurre debido a las modificaciones de Almacenamiento térmico, Radiación reflejada, Emisión de radiación de onda larga, Obstrucción de radiación solar, Reducción velocidad del viento, Absorción radiación solar, Modificación del sonido, Factor de enfriamiento por evaporación, etc.

Como consecuencia de esta interacción entre las variables calificativas del tejido y los parámetros de estado climáticos general de la ciudad, se obtiene una modificación de los valores iniciales del estado climático del tejido y dos parámetros de estado climático adicionales: Temperatura radiante y Temperatura de sensación.

En este modelo, no hay una presencia explícita de aquellos elementos que inciden en ganancias de radiación del espacio urbano, referido principalmente a partir de iniciativas antrópicas. Esto es, las energías añadidas por uso de las edificaciones, por tránsito vehicular y por uso del espacio público.

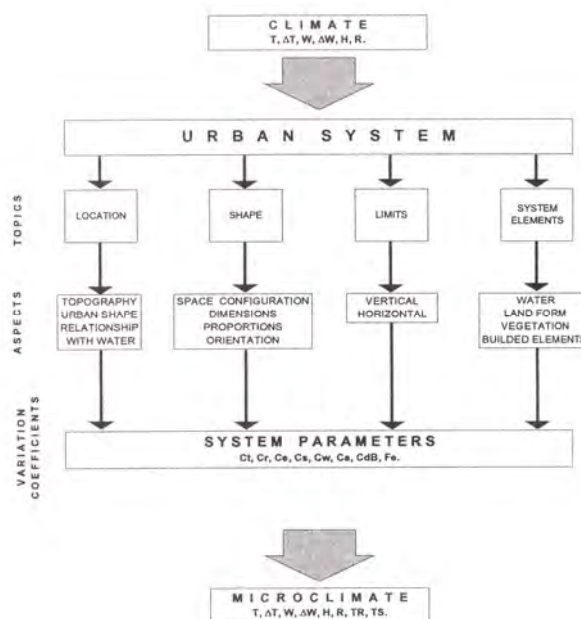


Fig. 2.161 Modelo del Sistema climático urbano. Fuente: Ochoa y Serra, op. cit. 1998.

Yannas (1998), plantea que las diferencias de densidad de la trama edificada, el cielo visible desde el lugar y la vegetación y agua presentes, afectan su clima. En particular define seis sistemas significativos: Forma del tejido urbano (densidad y tipo), figura del cañón de la calle (ancho/alto y orientación), diseño del edificio, materialidad urbana y de las superficies, vegetación y cuerpos de agua y tráfico. La siguiente matriz se presenta como modelo morfológico del espacio relacionándolo con las cualidades climáticas de la calle, su función medioambiental y elementos incorporados de diseño urbano.

URBAN CANYON			ENVIRONMENTAL FUNCTION		URBAN DESIGN ELEMENTS					
Section	H/W	Orientation	Shading	Airflow	Arcade	Canopy	Small Tree	Large Tree	Wall	Water
	A	N-S	♦	♦	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		
	A	N/W	♦	♦	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		
	A	E-W	♦							
	B	N-S	♦	♦	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	B	N/W	♦	♦	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	B	E-W				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
	C	N-S		♦	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	C	N/W		♦	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	C	E-W		♦	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>

Tabla 2.15 Matriz Evaluativa Cualitativa: Tabla de evaluación comparativa de las consecuencias climáticas de tres situaciones de calle urbanas de secciones distintas, combinadas con elementos urbanos de diseño aplicados para el control del clima. Fuente: Yannas, 1998.

Dessi (2001) define la participación del entorno en el microclima a partir de las características morfológicas del contexto que determina condiciones de radiación, sombra y viento que este entrega. Da una alta significancia a las características físicas del caso de estudio y lo correlación con las propiedades térmicas de los materiales superficiales.

Class of elements	Morphological characteristics	Class of elements	Physical characteristics	
Site	Geographic data	Boundaries surfaces	Radiative	Emissivity
	Topographic data			Trasmissivity
Urban Form	Thermal		Albedo	
Form	Spatial configuration	Hygroscoptic	Conductivity	
	Dimensions	c	Th. capacity	
Boundaries	Proportions	Vegetation	kind of vegetation	
	Orientation			
	Vertical			
	Horizontal			

Tabla 2.16 Características significativas de la morfología del sitio de emplazamiento y tejido de estudio y físicas de las superficies y vegetación. Fuente: Dessi, 2001

Pinho, Pedro y Coelho (2003) presentan una matriz que caracteriza morfológicamente los elementos del paisaje urbano. Consideran Topografía y uso del suelo en una primera escala y luego la morfología local, sus edificaciones, espacios abiertos y vegetación.

District		
Topography	Slopes and Grades	
	Slope's Orientation	
	Obstructions	
Land Use	Type	
	Density	
	Roughness	
Cells		
Morphology (blocks and streets)	Geometry	Shape
		H/W aspect ratio
		L/W aspect ratio
		Orientation
Buildings	Density	Shape
	Form	
		H/W aspect ratio
		L/W aspect ratio
		Facade details
	Orientation	
	Materials	Material
		Colour and texture
		Conservation
Open spaces		
	Geometry	Shape
		H/W aspect ratio
		L/W aspect ratio
		Orientation
	Cover/pavement	Vegetation/material
		Colour and texture
		Conservation
		Tree/bush/grass
Vegetation		
	Type	Type of foliage
		Deciduous/evergreen
		Density
		Size and shape
		Distribution

Tabla 2.17 Modelo de caracterización geométrica del ambiente edificado, que participan en las variaciones del microclima. Fuente: Pinho, Pedro y Coelho, 2003.

Existen otros estudios morfológicos que también consideran elementos del espacio urbano, las edificaciones, los espacios abiertos, la calle y sus áreas verdes y relacionan aspectos significativos que caracterizan morfológicamente sus espacios y sus microclimas (Isalgué, et. al. op. cit. 1998; Schiller, 2001; Ali Toudert y Bensalem, 2001; Lehtihet, Iazard y Marcillat, 2001; Johansson et. al., 2001; Adolphe, 2001; Crawford, 2002; Massa, 2001; Ait-Ameur, 2002; Costa y Araujo, 2002; Hackenberg, Heemann, Ramos, 2003; Labaki, Oliveira, y Freire 2003). De igual manera, hemos visto que los consumos interiores de las edificaciones se relaciona con la morfología urbana edificada (Adolphe, 2003).

A continuación se definen algunos indicadores con los que estos estudios anteriores han cualificado las características tridimensionales como descriptores morfológicos del tejido y sus situaciones puntuales:

1

Rugosidad. Relacionada fundamentalmente con la disminución de la velocidad del viento en la ciudad. Diferencia altura edificada en un área de la zona de estudio, una orientación definida y su forma geométrica, en una escala zonal.

2

Porosidad. Esta característica define densidad de edificación, espacio entre los edificios, relación de alto/ancho de los espacios libres (H/W). Relaciona geometría espacial e incidencia del viento en el espacio exterior y en la ventilación de los interiores edificados. Referida a la relación entre los volúmenes de espacios vacíos (espacios abiertos) y el total del volumen del tejido definiendo ocupación de suelo. Está más bien referido a una escala zonal.

3

Orientación o Sinuosidad. Relacionando el ángulo de la calle con la del azimut, relacionado con las posibilidades de ventilación de los distintos sitios.

4

Factor de cielo visible u Oclusividad con respecto al cielo. Está vinculado con la entrada de radiación de onda corta solar, la de onda larga de los objetos urbanos, iluminación interior y difusión de polucionantes entre el cañón urbano y el nivel superior de cubiertas. Incide en la medida de la radiación de onda larga nocturna irradiada a la atmósfera por parte del espacio urbano y de sus paramentos (Moreno, op. cit. 1997). Incide también en la exposición a los vientos zonales, actuando sobre la ventilación.

5

Compacidad o apertura al cielo. Que está relacionado con el almacenamiento térmico de la fábrica urbana y con la iluminación natural. Así como con el acceso de radiación diurna como con el de ventilación diurna y nocturna. La condición geométrica de alto/ancho (H/W), el espacio entre los edificios dando forma al espacio y la orientación de este favorecerá o no estos fenómenos (Ali Toudert y Bensalem, op. cit. 2001).

6

Altura Relativa (FHR) (Isalgué et. al., op. cit. 1998). Este factor se define para estimar la posible influencia del entorno en el acontecer climático de un lugar. Corresponde a la relación relativa entre el lugar y el entorno medido como su altura de emplazamiento respecto de él. Un lugar puede estar más alto o más bajo que su entorno y ser influido por este respecto de la entrada de radiación solar y exposición al viento.

7

Contigüidad. Que expresa la capacidad de transmitir el calor interior al espacio exterior y también expresa las limitaciones formales al ingreso de radiación a los interiores.

8

Reflectancia urbana. Participa del balance energético del espacio, considerando la densidad edificada y los materiales de las distintas superficies del espacio definido.

9

Paisajismo. Referido fundamentalmente al rol de la vegetación en las condiciones de sombra, reducción de viento, acceso a radiación solar, evapotranspiración, filtración de elementos polucionantes, etc., estableciendo una fuerte relación entre estos elementos, sus formas y las de las edificaciones.

10

Mineralización. Referido a la existencia de elementos naturales de agua o vegetación, siendo indicativo de las características térmicas de los elementos y la envolvente urbana.

Estas correlaciones entre características morfológicas del espacio y su comportamiento climático entregan herramientas de diseño para un control climático que ha de responder a los requerimientos biológicos del ser humano, a partir de las características y condiciones del lugar (Olgay, op. cit. 1998).

Una de las primeras consideraciones de los estudios es aquella de que la temperatura exterior, el viento y la radiación solar al que están expuestos los edificios en una ciudad no corresponde al clima regional, porque la estructura de la ciudad lo modifica; especialmente la del entorno del edificio (Givoni, op. cit. 1989). En este sentido, las preexistencias ambientales (Serra y Coch, op. cit. 1995) están plasmadas en el sitio elegido para el asentamiento y, a través de lo construido, son modificadas o corregidas, para mejorar o para empeorar según sea el caso.

Ejemplo de ello son los casos de tejidos urbanos emplazados en diferentes climas, expuestos en los puntos 2.1.1 y 2.1.3 de este capítulo, que buscan satisfacer necesidades

biológicas del ser humano a partir del conocimiento del clima local y de su lugar de emplazamiento.

En la evaluación del desempeño del microclima y su comportamiento respecto del confort en espacios abiertos, la percepción del lugar se expresa en cualidades térmicas, lumínicas y acústicas. De esta forma es posible abordar estrategias para su control.

Podemos considerar variables de diseño urbano (estructura formal del tejido), de exposición al sol, de exposición al viento, de exposición al ruido, de sección / proporción del espacio de la calle o del lugar, la medida de "lo abierto" del espacio, caracterización del espacio abierto y materiales predominantes, entre otros, como determinantes del confort climático para un lugar determinado (Bustos Romero. op. cit., 1998).

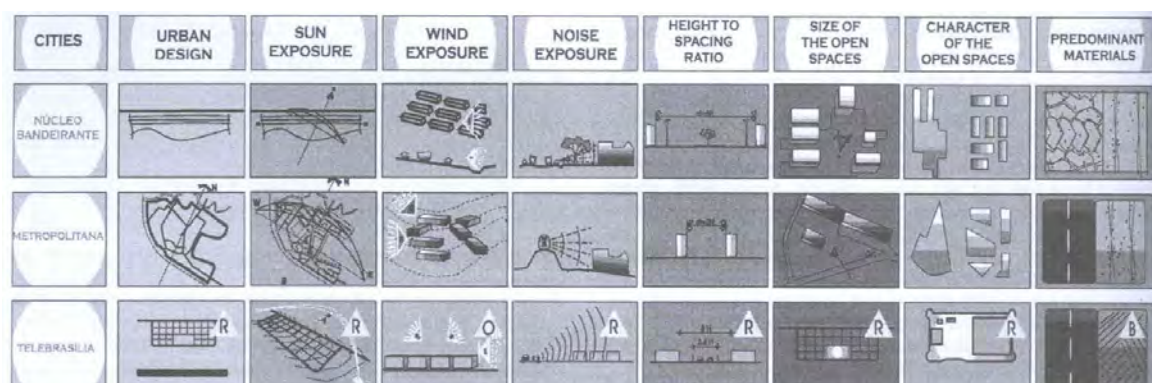


Tabla 2.18 Tabla de evaluación cualitativa de tres situaciones urbanas en Brasilia, Fuente: Bustos Romero, op. cit. 1998.

Bustos Romero (op. cit. 2001) considera, en la evaluación bioclimática de la microescala, las condiciones espaciales y ambientales del entorno, del suelo y de las fronteras o límites verticales. Dessi (op. cit. 2001) aporta estrategias a partir de las propiedades radiativas, térmicas e higroscópicas de los materiales.

Materials properties	Parameter	Climate-control strategies		
		Shadow devices	Surf. Temp. Control	Radiation control
Radiative	Emissivity	*	*	*
	Trasmissivity	*	*	*
	Albedo	*	*	*
Thermal	Conducibility	*	*	
	Thermal Capacity	*	*	
Hygroscopic			*	

Tabla 2.19 Tabla que grafica la aplicación de estrategias de control microclimático de acuerdo a las propiedades radiativas, térmicas e higroscópicas de los materiales de edificación. Fuente: Dessi, 2001.

Se ha determinado en el capítulo que existe una dependencia entre calidad climática y las propiedades geométricas de la morfología urbana. Esto favorece el desarrollo de modelos cualitativos que relacionan percepción espacial morfológica con caracterización climática, por tanto se presentan como una herramienta de análisis a partir de la definición de elementos del espacio urbano, sus dimensiones y sus materiales. Son elementos propios del diseño, que desde el punto de vista arquitectónico, aparecen de fácil entendimiento.

Vimos que el emplazamiento y forma geométrica están íntimamente ligados para comprender el suceso climático al interior del espacio urbano. Estos factores participarían en la definición de la eficiencia energética de un tejido y la calidad climática de sus

espacios exteriores favoreciendo una mayor calidad social como una forma de entender el suceso urbano. Estos factores individualizados están diferenciados, a la vez, por la escala espacial en la que participan.

El siguiente apartado tiene sentido dentro de la investigación, a partir de las características topográficas y orográficas particulares del caso de estudio, Valparaíso.

2.2.9 FACTORES DE EMPLAZAMIENTO Y SU RELACION CON EL CLIMA URBANO

2.2.9.1 EMPLAZAMIENTO Y CLIMA URBANO

La ordenación urbana en los procesos actuales, difícilmente elige los "mejores sitios" desde el punto de vista de su calidad climática, sino más bien los que ofrece el mercado para que la ciudad "crezca" a través de los procesos de urbanización dispersa que conocemos. En este sentido, las preexistencias ambientales determinan cualidades climáticas sobre las que actúan las edificaciones.

Estas preexistencias de emplazamiento responden a aspectos topográficos, de relación con el agua y con la vegetación (Serra y Coch, op. cit 1995). Una cuarta preexistencia corresponde a las condiciones que la ciudad y las edificaciones determinan para un lugar. Se considera de importancia para la investigación, que la ciudad de Valparaíso presenta una topografía variada y una condición de borde de mar que condiciona su clima mediterráneo.

2.2.9.2 SOBRE LA TOPOGRAFÍA

Las características de un sitio pueden definir distribución de asentamientos, actuar sobre los regímenes de vientos locales, radiación y pluviometría; determinar, de acuerdo a pendiente, grados de erosión, escorrentía e hidrología de la zona; define tipos de vegetación (Higueras, op. cit. 2006), etc.

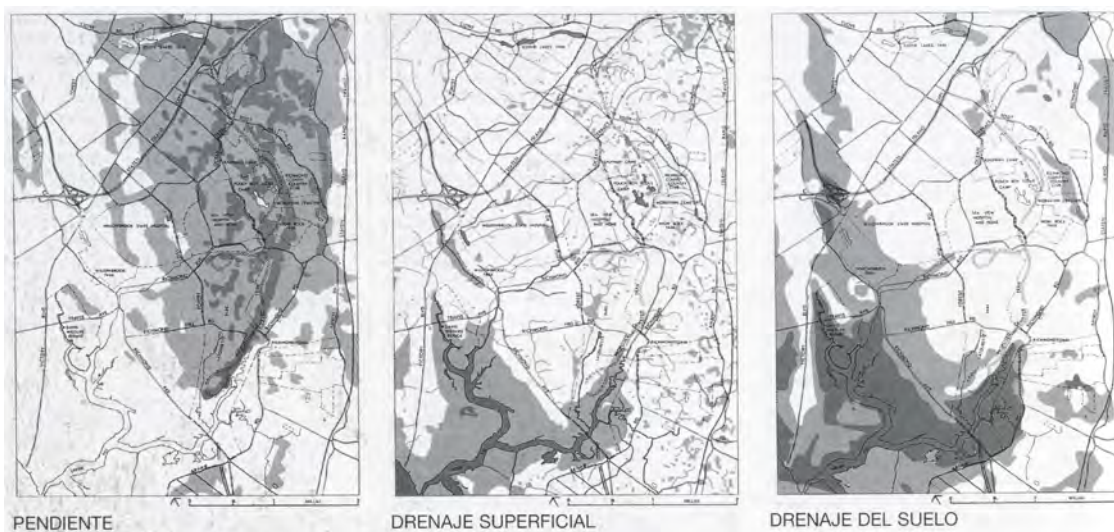


Fig. 2.162 Estudio de características de una zona costera en Jersey, USA. McHarg valora el emplazamiento en el planeamiento de un tejido urbano a partir de una serie de características, entre las que están la pendiente, drenaje de superficie del terreno, áreas inundables, etc. Fuente: McHarg, op. cit. 1967.

Para la elección de emplazamiento de un tejido, climáticamente son más favorables, desde el punto de vista del confort, aquellos que tienen menores variaciones en una relación invierno-verano. Respecto de la orientación y al asoleo debemos considerar que primeramente es preferible tomar como referencia los días más fríos, donde hay necesidad de radiación solar, y los días más calurosos, donde hay necesidad de evitarla (Olgay, op. cit. 1998).

Respecto de su relación con el tejido, la pendiente del terreno para edificaciones urbanas no debe ser pronunciada ya que condiciona aspectos tales como la movilidad o de escorrentía. No debe tener una pendiente mayor al 10 % (Higueras, op. cit. 2006) o 15 % (McHarg, op. cit. 1967). Desde el punto de vista de su uso, no debiera estar en una llanura de inundación frecuente, ni en una zona con un valor importante de recarga de acuíferos, ni en lugares donde se produzcan bolsos de niebla o en zonas elevadas expuestas al viento, buscando el fácil abastecimiento de agua y una fácil movilidad en pendientes.

Respecto de su relación con el contexto, la pendiente puede exponer el lugar de emplazamiento al viento y a la radiación solar, dependiendo de su orientación. En ese sentido, el descriptor "altura relativa" da cuenta respecto del entorno, e informa sobre las posibilidades que la pendiente y la orientación del terreno repercutan lumínica, acústica y térmicamente en el lugar.

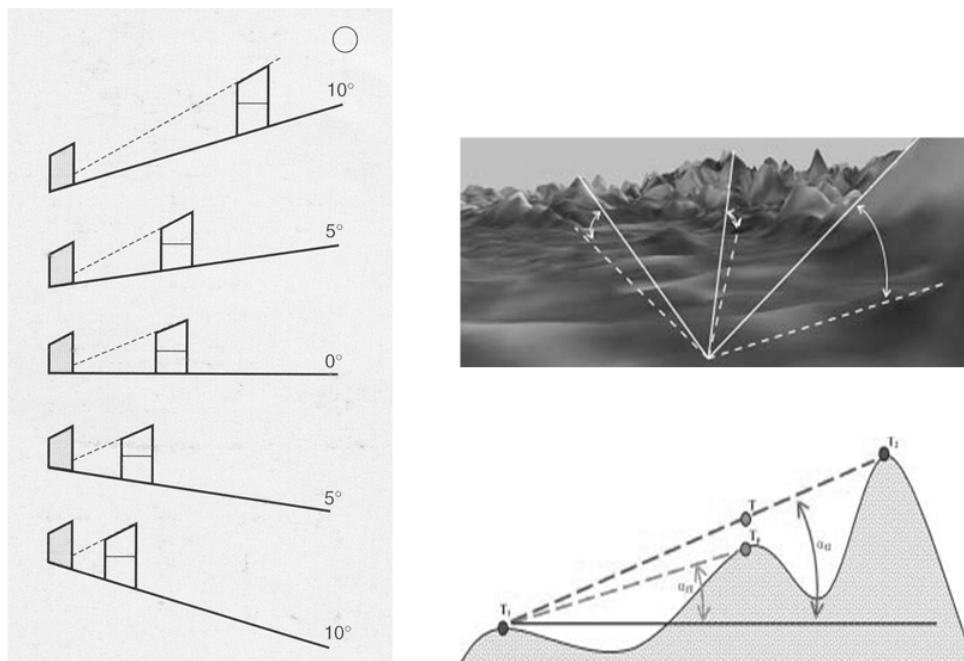


Fig. 2.164 Izquierda: Efecto de la orientación de la pendiente respecto de la radiación solar recibida por las edificaciones. Fuente: A Green Vitruvius, op. cit. 1999.

Fig. 2.165 Derecha, situaciones de altura relativa respecto de la topografía. Fuente: Klemen Zakek, 2006.

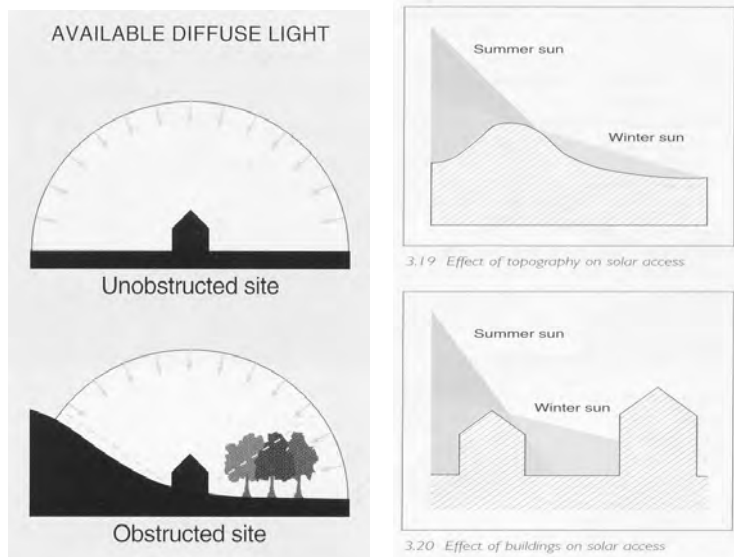


Fig. 2.163 Efectos de la obstrucción topográfica y edificada respecto del acceso de la radiación solar. Fuente: A Green Vitruvius, 1999.

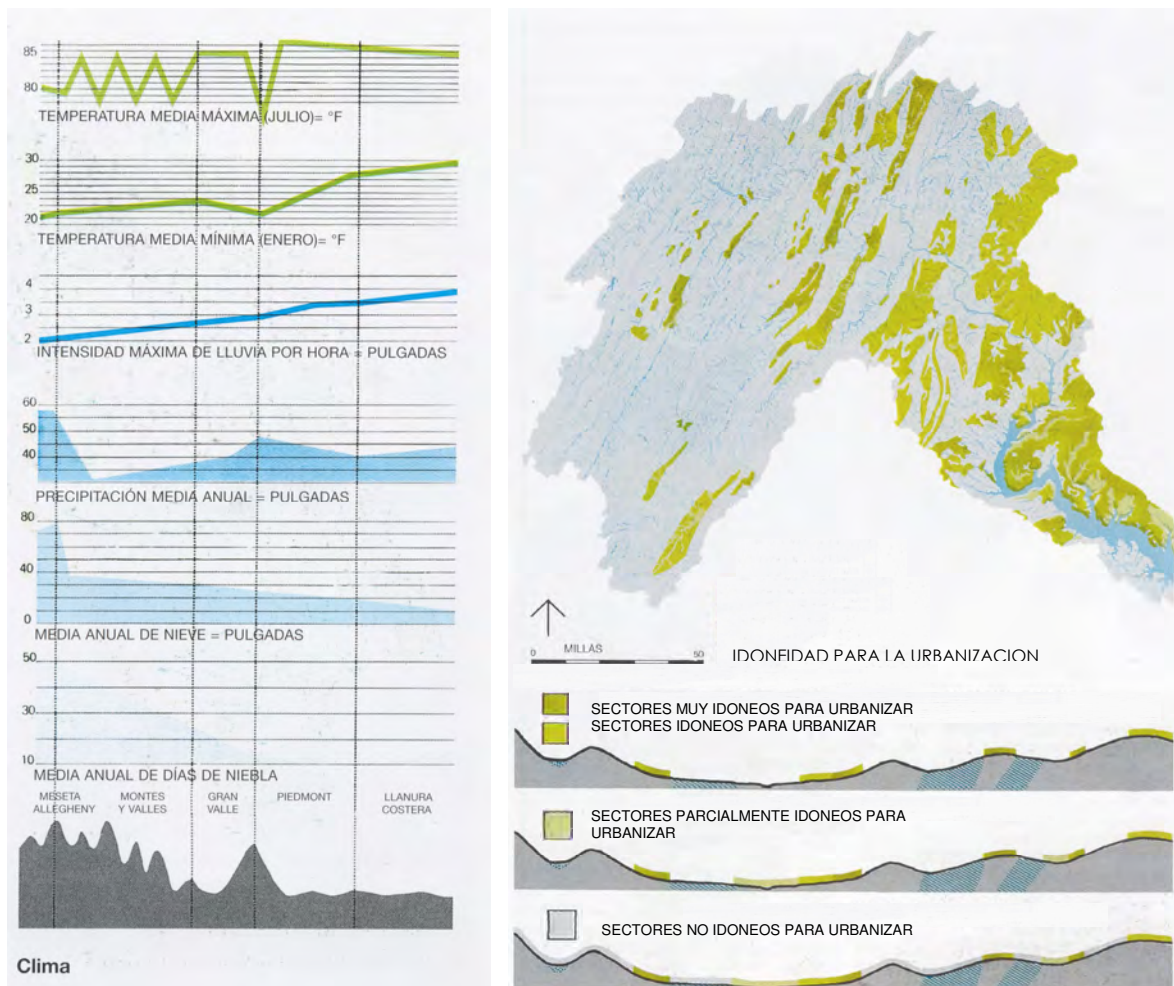


Fig. 2.166 Detalles de estudio de clima en la Cuenca del río Potomac (Estados Unidos) y de sus áreas urbanizables. Fuente: McHarg, op. cit. 1967 (adaptado).

Respecto del movimiento del viento, la existencia de laderas que favorecen la formación de "vientos de ladera", es una característica orográfica a considerar y que existe también en Valparaíso: durante el día el aire se mueve ladera arriba desde el valle y durante la noche el aire se mueve ladera abajo, hacia el valle.

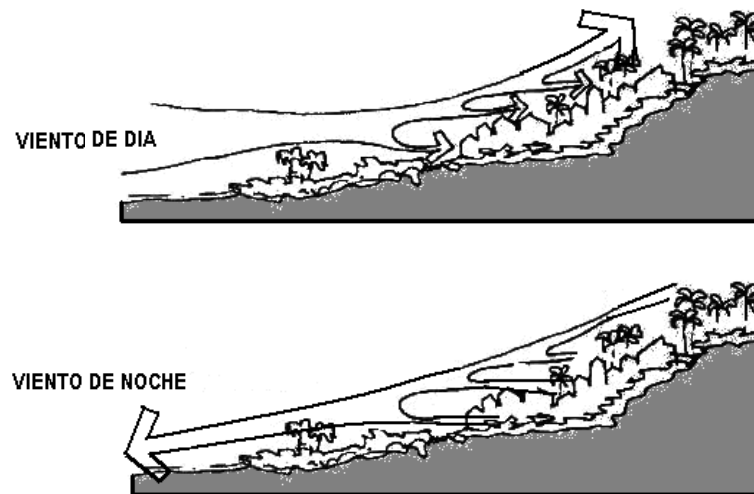


Fig. 2.167 Movimiento del aire en ladera. Fuente: Givoni, 1998 (adaptado).

Existen también otros movimientos de aire en las laderas cuando existen quebradas o valles entre ellas. Estos movimientos se complejizan debido a que en muchos casos se superponen unos con otros.

De acuerdo a Whitemann (2000), son cuatro los tipos de movimiento de aire que suceden. Haciendo una comparación con una quebrada habitada de la ciudad de Valparaíso, estos movimientos serían:



Fig. 2.168

Imagen del primer tipo de movimiento de aire que se produce después del amanecer apareciendo la brisa que asciende por las laderas;

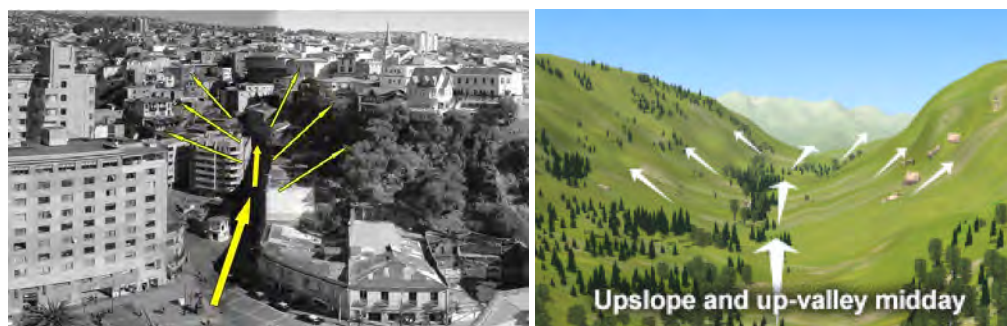


Fig. 2.169

Imagen del segundo tipo de movimiento de aire que sucede al mediodía cuando se produce la brisa hacia el interior del valle o quebrada;



Fig. 2.170

Imagen del tercer tipo de movimiento de aire, que se produce después del atardecer en que la brisa descende por las laderas;



Fig. 2.171

Imagen del cuarto tipo de movimiento de aire que ocurre durante la medianoche en que se produce la brisa que descende por el valle o quebrada.

Para las Figuras 2.168 a la 2.171. Descripción de este movimiento ladera-quebrada en Valparaíso. Columna Izquierda: Imágenes de Valparaíso. Fuente: Claudio Carrasco. Columna Derecha Esquemas brisas de valle y montaña. Fuente: COMET, 2002.

Las dimensiones del valle o quebrada determinan el tiempo que tarda el pasar de un tipo de movimiento a otro, ya que lo que calienta o enfría es el volumen de aire entre las montañas. Mientras más profunda y ancha sea la condición topográfica, mayor tiempo se tarda en enfriar o calentar el aire y por tanto el proceso demora más en ocurrir. Por otra parte la influencia de una mayor radiación en verano acelera el proceso y en invierno, debido a la menor radiación solar, el proceso se retarda.

Debido al roce que presenta el viento con la superficie, la mayor velocidad se produce unos metros sobre ella y no inmediatamente sobre ella.

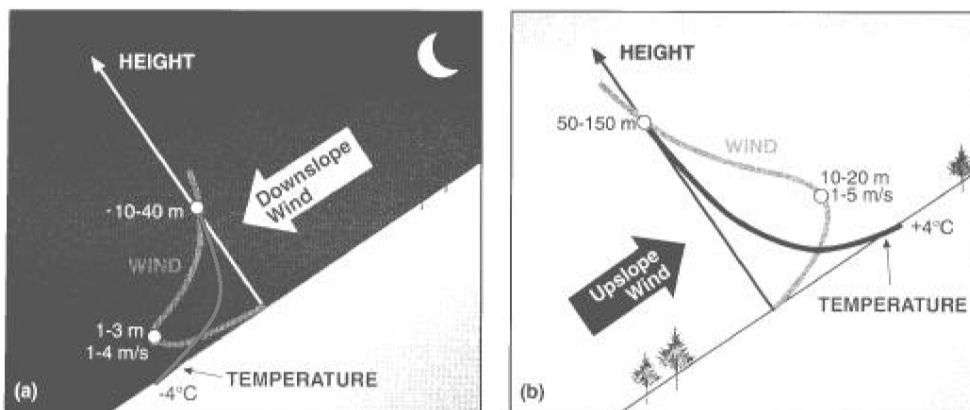


Fig. 2.172 a, Izquierda, los vientos de ladera en el anochecer; b, Derecha, al amanecer. Fuente: Whitemann, 2000.

La topografía afecta también la radiación que recibe el lugar, de acuerdo a la orientación y la pendiente, pudiendo ofrecer sitios con una alta proporción de días sombríos afectando también la temperatura del aire.



Fig. 2.173 Efectos de la topografía sobre la radiación. Fuente: Bustos Romero, op. cit. 2000.

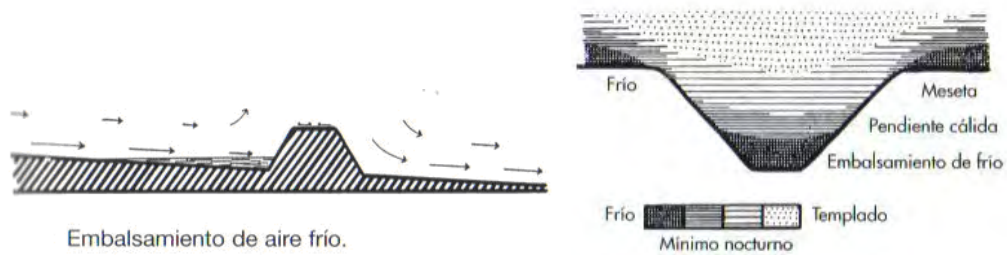


Fig. 2.174 Efectos de la topografía sobre la temperatura del aire. Se indican zonas donde el aire frío se fondea (fondos de valle) y donde el aire se encuentra más templado (zona de laderas). Fuente: Olgyay, op. cit. 1998.

De igual manera, la topografía afecta el comportamiento y transmisión de la onda sonora y afecta el viento zonal que actúa sobre la formación de la vegetación. En los espacios que reciben la influencia directa de los vientos, la vegetación tiene menos probabilidad de establecerse.

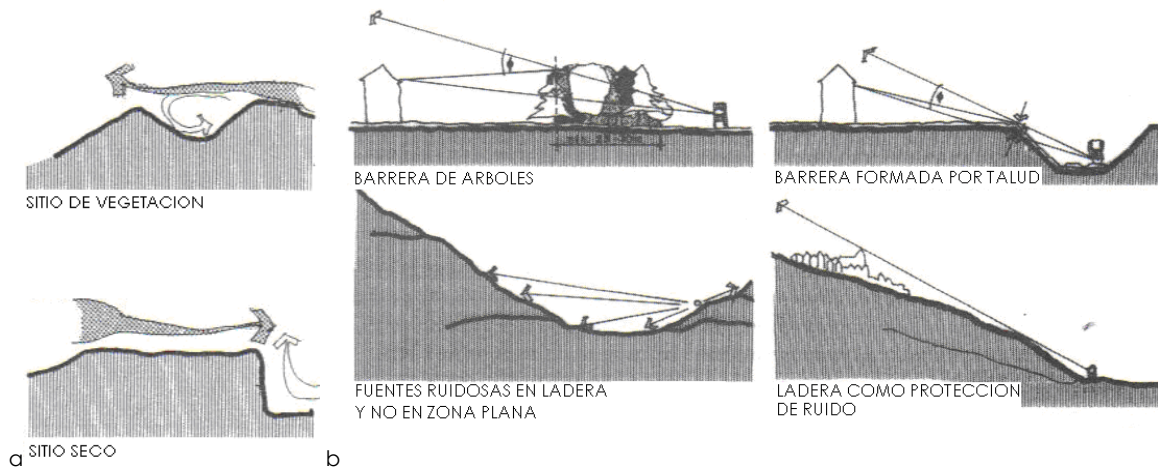


Fig. 2.175 (a, b). a, Izquierda, Influencia de la topografía sobre el viento; b, Derecha, Influencia de la vegetación sobre el viento y de la topografía en la onda sonora. Fuente: Walker, en Bustos Romero, op. cit. 2001.

La topografía como factor, puede condicionar el diseño e influir en la planificación urbana. Y, de acuerdo al clima de emplazamiento, es posible definir también ciertas

estrategias que favorezcan un clima confortable, con el uso de las energías naturales del lugar.

CONDICIONANTE DE DISEÑO	INFLUENCIAS EN LA PLANIFICACIÓN
Pendiente <ul style="list-style-type: none"> • 0%-5% • 5%-10% • 10%-15% • >15% 	Determina la escorrentía superficial Condiciona los usos de suelo
Posición relativa <ul style="list-style-type: none"> • Protegida • Media ladera • Expuesta 	Control de temperaturas y vientos Modifica la radiación directa Usos de suelo y crecimientos
Obstrucciones <ul style="list-style-type: none"> • Naturales • Urbanas 	Altera la radiación solar directa y condiciona usos del territorio

Tabla 2.10 Influencia De Las Variables Topográficas En Planificación Urbana. Fuente: Higuera E. op. cit. 1997.

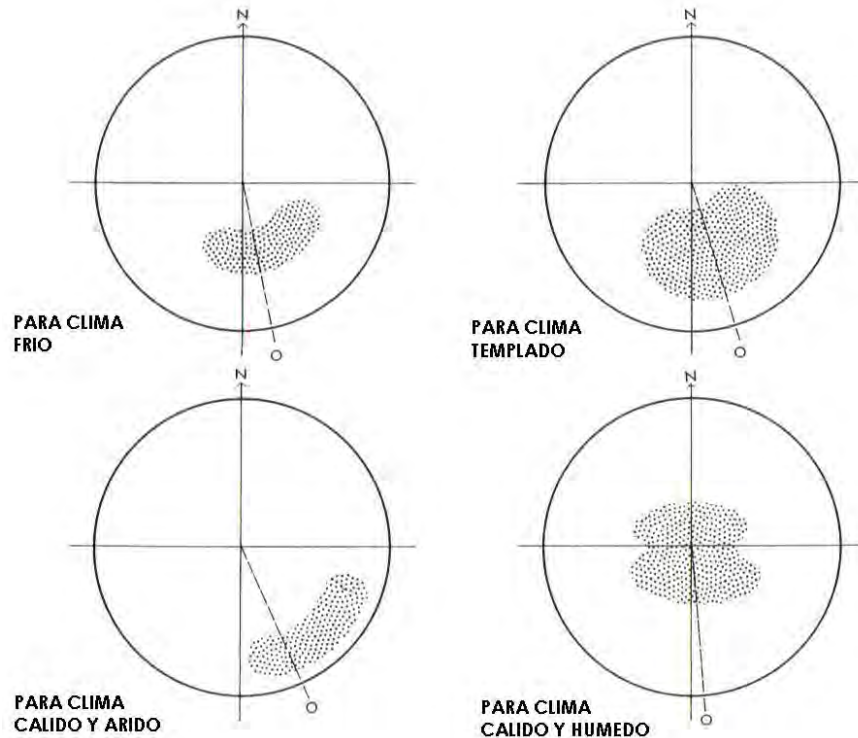


Fig. 2.176 Se grafican las zonas de emplazamientos favorables para la generación de espacios confortables con energías naturales para una edificación en cuatro condiciones climáticas generales en el hemisferio norte. Fuente: Olgyay, op. cit. 1998.

2.2.9.3 SOBRE LOS CUERPOS DE AGUA

Respecto de la relación con el agua, para las ciudades de costa y en particular para el caso de Valparaíso, desde el punto de vista microclimático, los cambios de rugosidad del suelo entre el mar y la costa pueden desarrollar una capa fronteriza interna; así también, los cambios de albedo, de inercia térmica o de emisividad puede llegar a desarrollar una Capa Fronteriza Interna térmica, entre dos superficies (Jorba, op. cit. 2005). Esto último es lo que sucede en la interfase tierra-mar. La tensión del viento sobre el mar es un parámetro muy importante en la circulación del océano; y por otra parte, esta circulación afecta la temperatura superficial del mar y esta la tensión del viento (Kochanski et. al 2007), que afecta la línea de costa y el clima de las ciudades de costa.

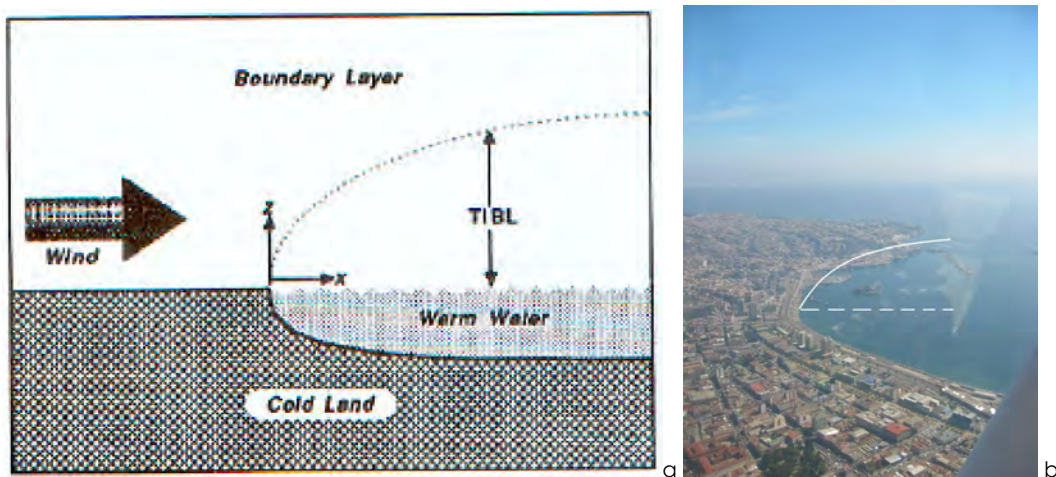


Fig. 2.177 (a, b). a, Izquierda. Conformación de la Capa Fronteriza Interna térmica en la interfase tierra-mar. Fuente: Lyons, 1975; b, Derecha. Esquema en la bahía de Valparaíso.

Otra característica de la ciudad costera como Valparaíso, es la existencia de brisas de mar (Lyons, 1975; Simpson, 1977; Helmig et. al., 1987; Ogawa, 1986, Jorba, op. cit. 2005). La brisa marina es un fenómeno que afecta los flujos de viento. Su origen se debe a que la temperatura superficial del continente es mayor que la del mar durante el día y menor durante la noche. Por un lado la temperatura de la superficie de agua se mantiene casi invariante día y noche, debido a su alto calor específico; y por otro lado, el bajo calor específico de las superficie se expresa en importantes variaciones de temperatura superficial entre día y noche: calentamiento de día y enfriamiento de noche.

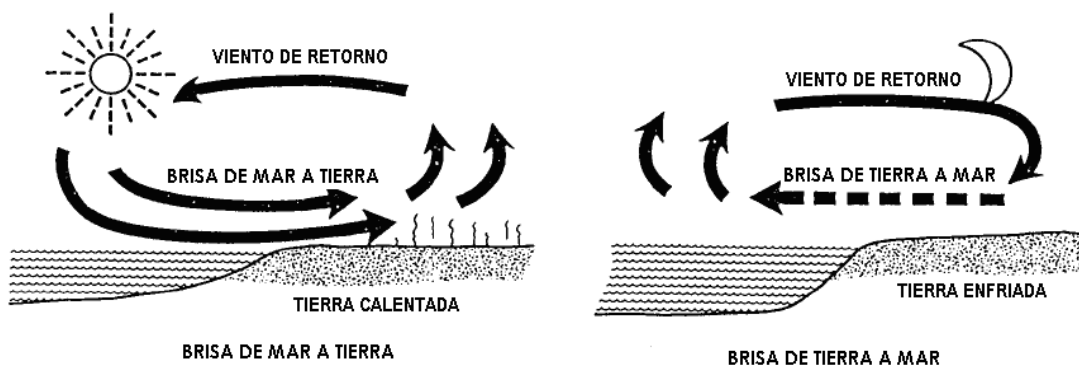


Fig. 2.178 Movimiento del aire en una zona límite de costa. Fuente: Pendergast, 1984 (adaptado)

De día el aire de mar penetra al continente a reemplazar el vacío que deja el movimiento del aire que se calienta a raíz de que el suelo se calienta. Debido a este proceso, la temperatura del aire baja y aumenta la humedad, teniendo su máxima intensidad durante el mediodía. Al atardecer el suelo se enfría y se produce la brisa de tierra a mar. Este flujo es más débil, debido a la menor diferencia entre la temperatura del suelo y la del agua (Jorba, op. cit. 2005). De acuerdo a la compleja situación, el proceso de brisa de mar - tierra pareciera estar influenciada por la forma de las líneas de costa, el viento sinóptico y la distribución de la temperatura superficial.



Fig. 2.179 Movimiento del aire en el sistema agua-tierra. Fuente: Olgay, op. cit. 1998



Fig. 2.180 Esquema del movimiento de la brisa tierra-mar y mar-tierra en Valparaíso. Fuente: Claudio Carrasco.

Cuando se produce el régimen de brisa marina, la contribución de la advección horizontal en flujos del calor sensible y de la humedad es preponderante (Pigeon, et. al. op. cit. 2007). A menor distancia entre el espacio microclimático y la línea de costa, mayor es este proceso de advección, lo que aumenta la humedad del aire y el flujo de calor latente.

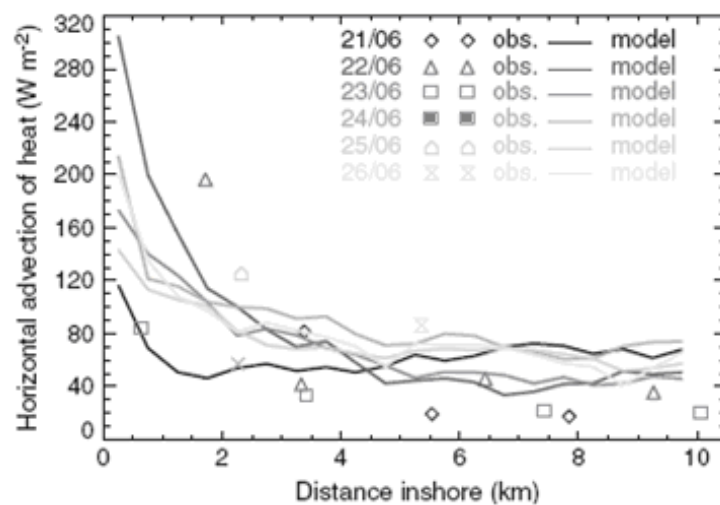


Fig. 2.181 Variación con respecto de la distancia a la costa de mar de la advección horizontal de calor en la ciudad de Marsella. Fuente: Pigeon, et. al., 2007.

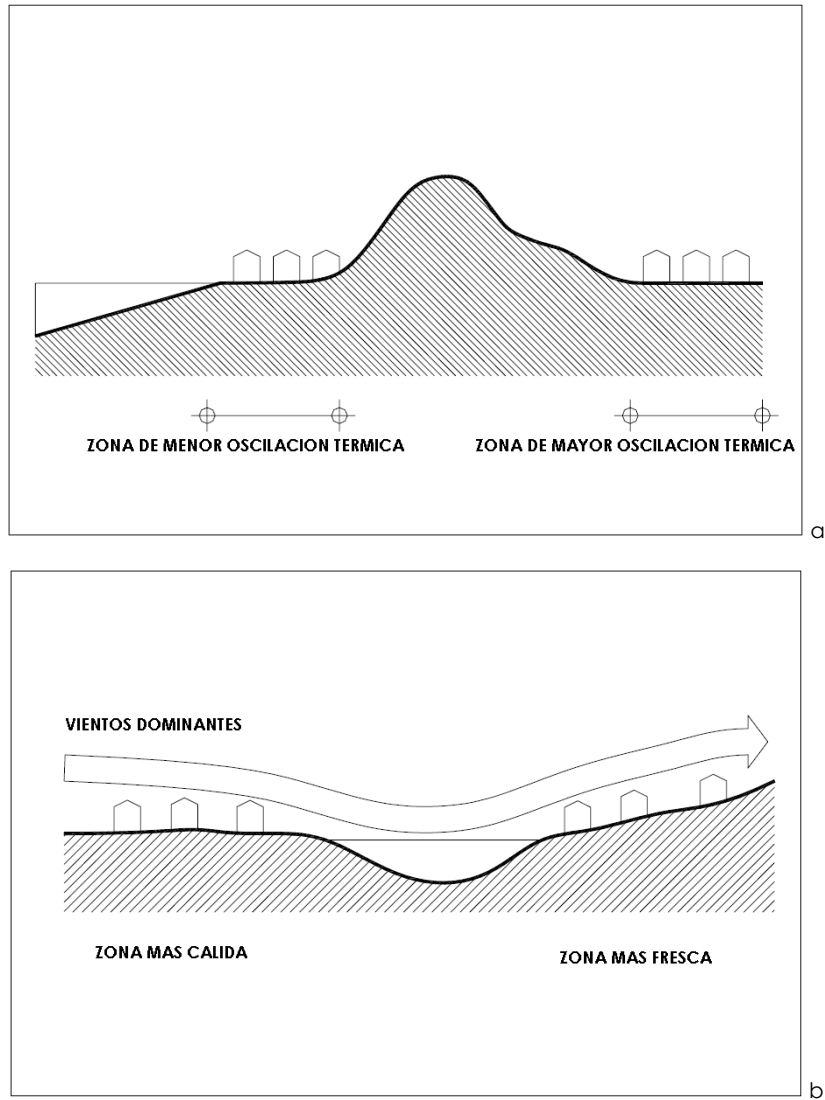


Fig. 2.182(a, b) Respecto de la combinación de situaciones, un viento cálido y seco puede aumentar su humedad al pasar por un cuerpo de agua. Fuente: Ochoa, op. cit. 1999.

Desde el punto de vista de la temperatura del aire, la presencia de agua en el emplazamiento afecta significativamente la oscilación térmica del lugar y la presencia de vegetación, existiendo estudios que han mostrado este valor climático (Serra y Coch, op. cit. 1995; Hough, op. cit. 1998; Ochoa op. cit. 1999; Higuera, op. cit. 2006).

2.2.10 CONCLUSION PARCIAL. PALABRAS FINALES

Hemos hablado de las preexistencias de un lugar y cómo estas tres condiciones (topográficas, de vegetación y de cuerpos de agua) participan del comportamiento climático del emplazamiento. Estas condiciones ya fueron cualificadas en los tratados fundacionales a los cuales se hizo referencia en el apartado 2.1.

Una cuarta preexistencia que cualifica una situación en un tejido urbano se refiere a las condiciones que la ciudad y las edificaciones determinan para un lugar. Se define por el tipo de forma urbana, densidad, tipo de trama, características de materiales, etc., que se han visto a lo largo de este apartado 2.2. Se revisó también que el metabolismo urbano y sus consumos de energía definen nuevas particularidades climáticas de un tejido y de sus calles.

A escala peatonal, vimos como la morfología y los materiales cualifican las variables de estado climático y que es posible de describir a través de descriptores morfológicos. Se determinó que el modelamiento de este microclima necesita una importante cantidad de variables que relacionan escala de ciudad, escala del tejido o zonal y escala puntual o microclimática, ya que existe una influencia de una hacia las otras.

Finalmente se determina que las características del lugar de emplazamiento definen inicialmente si una zona presenta un comportamiento climático confortable o que criterios de diseño han de aplicarse para mejora su comportamiento climático. Estas preexistencias pueden ser modificadas por las formas espaciales y materiales usados en la ciudad y sus edificaciones. Lo que Serra y Coch (op. cit. 1995) llaman "corrección del entorno". Sin embargo, esta corrección también puede ser realizada por las actividades que el hombre desempeña en ellas.

CAPITULO 3

DESCRIPCION CASO DE ESTUDIO: VALPARAISO CIUDAD

INDICE CAPITULO 3

		Página
3.1	HISTORIA DEL CRECIMIENTO URBANO DE VALPARAÍSO	147
3.2	EL CRECIMIENTO Y POBLAMIENTO DE LA CIUDAD	149
3.3	SITUACION TOPOGRAFICA GENERAL	154
3.4	CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS: VALPARAISO Y TEJIDOS URBANOS	155
3.5	TEJIDOS GEOMÉTRICOS Y TEJIDOS ORGÁNICOS DE VALPARAÍSO	159
3.6	DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO CLIMÁTICO DE LA CIUDAD	161
3.7	CONCLUSION PARCIAL. PALABRAS FINALES	167

El 23 de julio en Valparaíso. Charles Darwin

"...Durante la noche el Beagle echa el ancla en la bahía de Valparaíso, principal puerto de Chile. Al amanecer nos encontramos en cubierta. Acabamos de abandonar Tierra del Fuego; ¡qué cambio!, ¡qué delicioso nos parece todo esto aquí: tan transparente es la atmósfera, tan puro y azul es el cielo, tanto brilla el sol, tanta vida parece rebosar la naturaleza! Desde el lugar en que hemos anclado, la vista es preciosa. La ciudad se alza al pie de una cadena de colinas bastante escarpadas y que tienen cerca de 1,600 pies (480 metros) de altitud. Debido a esa situación, Valparaíso no es sino una larga calle paralela a la costa: pero cada vez que un barranco abre el flanco de las montañas, las casas se amontonan a uno y otro lado. Una vegetación muy escasa cubre esas colinas redondeadas y los lados rojo vivo de los numerosos barranquillos que las separan brillan al sol. El color del terreno, las casas bajas blanqueadas con cal y cubiertas de tejas, me recordaban mucho a Santa Cruz de Tenerife... Los inmediatos alrededores de Valparaíso ofrecen poco interés al naturalista. Durante el largo estío, el viento sopla regularmente del sur y un poco terral, de tal forma que no llueve nunca. Durante los tres meses de invierno, por el contrario, las lluvias son bastante abundantes. Esas largas sequías tienen una gran influencia sobre la vegetación, que es muy escasa, no hay árboles sino en los valles profundos, y en las partes más escarpadas de la colina sólo se ven unos pobres matorrales y algunas hierbas..."

(Charles Darwin, El 23 de Julio en Valparaíso, en elaleph.com. Enlace a versión en formato PDF, 25 páginas, en edu.mec.gub.uy)



Fig. 3.1 Imagen general de Valparaíso. Fuente: www.valparaisochile.cl

3.1 HISTORIA DEL CRECIMIENTO URBANO DE VALPARAÍSO

Los antecedentes históricos revisados, indican que la llegada a Valparaíso de inmigrantes europeos (s. XIX) de latitudes más altas, se vio plasmada en algunas de sus edificaciones y en parte de su crecimiento urbano. Provenientes de ciudades como Liverpool o Hamburgo, que pertenecen a climas templados con menor radiación y vientos más fríos, dieron forma a zonas de la ciudad con tejidos geométricos. Ejemplo de ello se aprecia en el cerro Concepción, cerro Alegre y Cerro Playa Ancha; además de la zona financiera del plan, que actualmente es el sector bancario de la ciudad.

En los lugares de la ciudad donde se establecieron los extranjeros, se construyeron edificaciones usando tipologías propias de un clima distinto. Sin embargo, se reconocen también, en algunas edificaciones, elementos arquitectónicos como balcones, corredores y galerías, como manera de adaptación a las características del clima local. Adaptación que también consideró la altura edificada debido a las características sísmicas de la región.



Fig. 3.2 Sector calles Prat y Cochrane, S XIX. Fuente: Chirino-Gálvez.

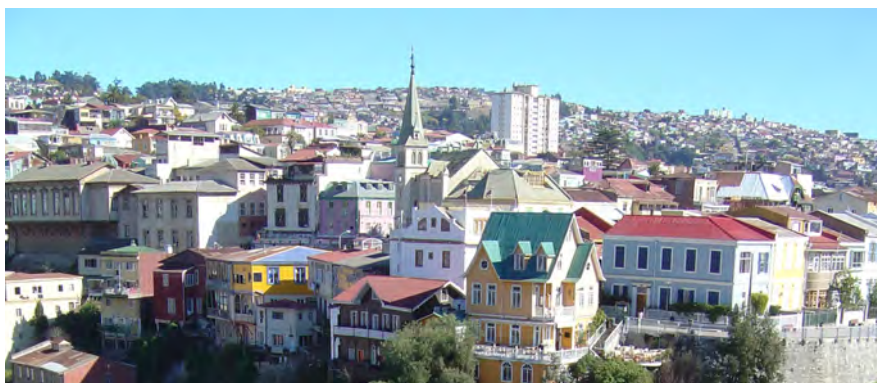


Fig. 3.3 Cerro Concepción en la actualidad. Fuente: C. Carrasco.



Fig. 3.4 Izquierda. Calle Prat y Cochrane S. XIX. (zona bancaria). Fuente: García Fernández. Duoc UC, Valparaíso.

Fig. 3.5 Centro. Plaza Aníbal Pinto S. XIX. (zona comercial – centro urbano) formado de acuerdo a la imagen de la ciudad extranjera de otras latitudes. La calle sin vegetación alta que impida la radiación directa sobre las fachadas. Fuente: García Fernández. Duoc UC, Valparaíso op. cit.

Fig. 3.6 Derecha se muestra el tejido urbano de la época para esta misma zona. Fuente: García Fernández. Duoc UC, Valparaíso op. cit.

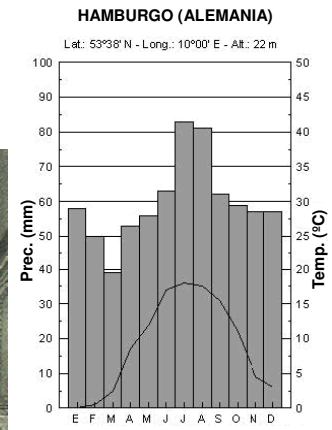


Fig. 3.7 Izquierda y Fig. 3.8 Centro. Imágenes de calles de Hamburgo, en el siglo XIX. Fuente www.raremaps.de. Fig. 3.9 Derecha. Climograma de Hamburgo. Fuente: <http://www.ub.es/medame/climogra.html>.



a



b

Fig. 3.10 (a, b) Imagen de una calle de Liverpool en el siglo XIX.. Fuente <http://en.easyart.com>.



Fig. 3.11 Imagen de tejido urbano en Liverpool en el siglo XIX.. Se aprecia un tejido "limpio" sin vegetación, de calles paralelas a la costa y plazas de mar protegidas. Fuente: <http://www.intaglio-fine-art.com>.

De igual manera, arribaron a la ciudad inmigrantes europeos de ciudades de clima mediterráneo costero como Sevilla o Génova, existiendo elementos tecnológicos usados en edificación de reconocido uso en ciudades de este clima, como es el caso de persianas, que aparece también en las fachadas de Valparaíso, así como balcones y patios interiores.

Sin embargo, elementos de diseño de espacios intermedios como galerías exteriores o pórticos en edificios, propios de otras ciudades de clima similar, no se aprecian en Valparaíso, posiblemente debido a la influencia de los inmigrantes.



Fig. 3.12 Izquierda. Galería en edificio del Eixample, Barcelona. Fuente: Claudio Carrasco.

Fig. 3.13 Centro. Persianas en fachadas. Girona. Fuente: Claudio Carrasco.

Fig. 3.14 Derecha. Variados elementos de protección solar. Girona. Fuente: Claudio Carrasco.



Fig. 3.15 Izquierda. Persianas y Galerías. Valparaíso. Fuente: Claudio Carrasco.



Fig. 3.16 Derecha. Persianas y Balcones, Valparaíso. Fuente: Claudio Carrasco.

3.2 EL CRECIMIENTO Y POBLAMIENTO DE LA CIUDAD

La ciudad en sus comienzos muestra un poblamiento en sus partes bajas y llanas, conformando dos áreas de desarrollo: Sector del Puerto y Sector del Almendral. Se distingue en los planos de crecimiento que la mayor extensión (Almendral) facilita el emplazamiento de un tejido más extenso.

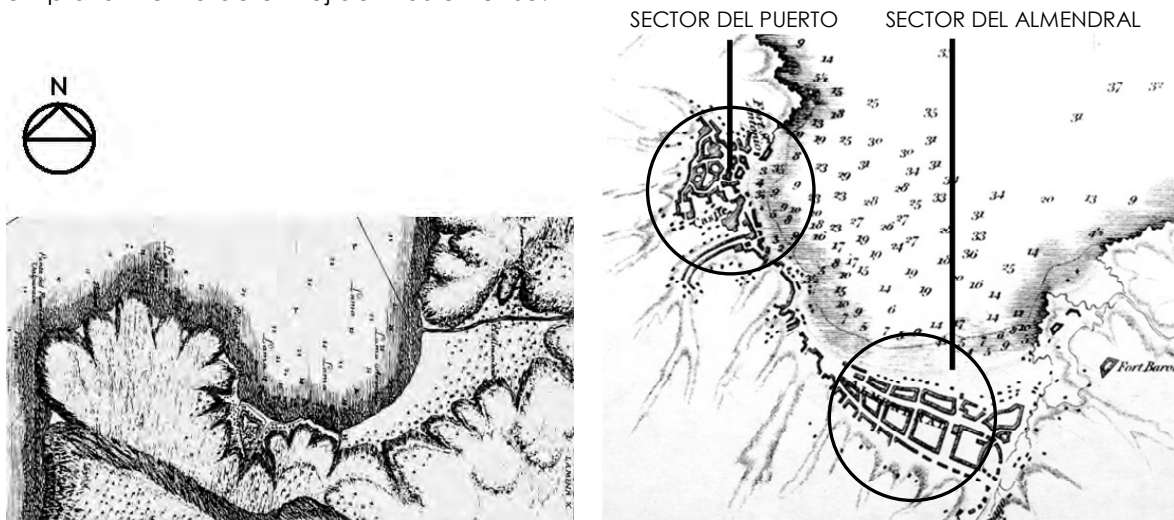


Fig. 3.17 Izquierda. Plano de Valparaíso, 1745. Fuente: Archivo Biblioteca Nacional, Chile.

Fig. 3.18 Derecha. Plano de Valparaíso, 1825. Fuente: Archivo Biblioteca Nacional, Chile.



Fig. 3.21 Valparaíso, hoy. Se aprecia como la ciudad ha ido cubriendo la bahía, transformando la superficie natural en superficie mineral. Fuente: Google Earth.

La ciudad ha crecido en extensión, densidad y complejidad, creándose variados tejidos en esta ocupación de nuevos territorios, y generando al mismo tiempo, zonas abandonadas, subvaloradas y periféricas. Estas variaciones formales han originado diferencias climáticas dentro de una misma ciudad, y este hecho ha afectado significativamente la habitabilidad del espacio exterior y la cantidad de energía consumida por las urbanizaciones (Santamouris 2001).

En la actualidad, las ciudades continúan atrayendo cada vez a más personas, que, de las zonas rurales, se trasladan buscando una vida mejor. Los datos de las Naciones Unidas muestran:

- Que el rápido crecimiento de las ciudades de los países en desarrollo está afectando sus niveles de vida y su relación con el medioambiente.
- Que en el mundo, la población urbana ha crecido exponencialmente desde los años 50, llegando de 750 millones a 3.000.
- Que para el año 2030 se calcula que esta cifra llegará a 5.000. De los cuales 4.000 habitarán las ciudades de los países en desarrollo (el Banco Mundial prevé que más del 80 % de la población de los países en desarrollo vivirá en la ciudad).
- Que se considera que a medida que las ciudades se vuelven más grandes, su impacto en el medio ambiente aumenta de manera exponencial. En 1975 había 5 ciudades que tenían sobre 10 millones de habitantes, actualmente existen 19, de las cuales 15 están en países en desarrollo. Se calcula que para el año 2015 serán 23.

Se grafica a continuación el crecimiento de la población mundial y estimación para el año 2030.

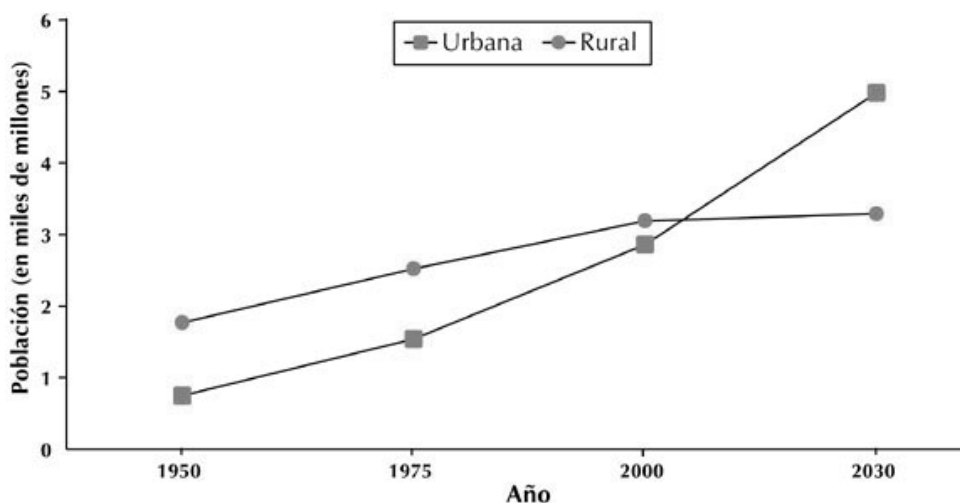


Fig. 3.22 Fuente: ONU, 2002, en <http://www.infoforhealth.org/pr/prs/sm16/m16figs.shtml>

Se grafica a continuación la estimación y proyección comparativa del crecimiento para el año 2030, de poblaciones urbanas y rurales en países desarrollados y en países en desarrollo.

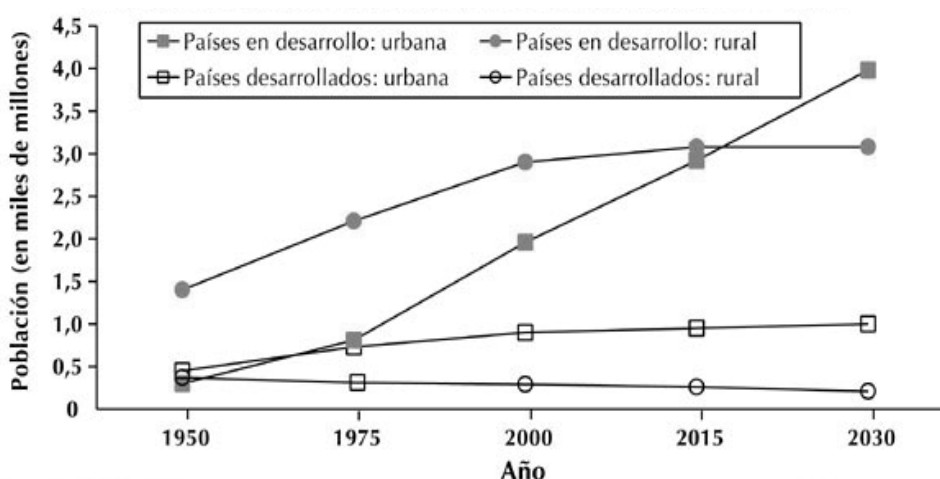


Fig. 3.23 Fuente: ONU, 2002, en <http://www.infoforhealth.org/pr/prs/sm16/m16figs.shtml>

Se muestra el porcentaje urbano de población y la tasa de crecimiento para tres países de América del Sur.

PAIS	POBLACION URBANA (mill.)			PORCENTAJE URBANO			TASA DE CRECIMIENTO URBANO	TASA DE CRECIMIENTO RURAL
	1975	1990	2025	1975	1990	2025	1990-1995	1990-1995
CHILE	8,1	11,96	17,7	78	84	89	1,8	0,9
ARGENTINA	21	30,46	43,1	81	88	93	1,6	1,3
BRASIL	66	126,6	205	61	78	89	2,7	1,4

Tabla 3.1 Crecimiento de la población urbana en tres países americanos. Fuente: División de Población de la ONU y Programa de la ONU para el desarrollo.

Para el caso particular de la ciudad de estudio, se muestra otro fenómeno urbano: la ocupación de territorio y la disminución de la densidad de la población urbana.

CIUDAD	Superficie Ocupada 1993 (ha)	Superficie Ocupada 2003 (ha)	Variación Sup. Oc. 1993 - 2003 (ha)	Población ciudad 1992	Población ciudad 2002	Densidad 1993 hab/ha	Densidad 2003 hab/ha	Variación densidad 1993 - 2003 (hab/ha)
Valparaíso	2.336,9	2.630,4	293,5	274.228	274.310	117,3	104,3	-13,1

Tabla 3.2 Crecimiento población para el caso particular de la ciudad de Valparaíso. Fuente: MINVU, 2006, en www.observatoriourbano.cl.

El crecimiento mínimo o negativo de la población total residente de la ciudad de Valparaíso se ha debido, al igual que muchas ciudades, como el caso de Barcelona, a la migración de la población hacia la periferia, lo que significa un aumento de la extensión de la ciudad sobre el territorio. En los países industrializados, el aumento de la calidad de vida ha significado además el aumento de la capacidad adquisitiva de bienes que se refleja también en un aumento en los m² edificados requeridos por habitante (Santamouris op. cit., 2001).



Fig. 3.24 Barcelona Area Metropolitana. En negro se indican las zonas pobladas

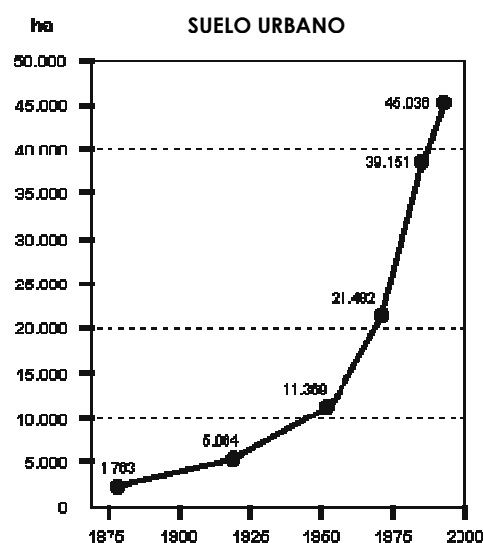


Fig. 3.25 Evolución de la ocupación urbana del área metropolitana de Barcelona (1880-1992), expresado en hectáreas. Fuente: Albert Serratosa en www.iermb.uab.es/htm/descargaBinaria.asp?idRevArt=106



Fig. 3.26 Evolución de la Población en Barcelona Ciudad. Fuente: Pla Territorial Metropolità de Barcelona.

Este crecimiento de la ciudad sobre el territorio, en extensión y densificación, modifica los materiales de cobertura cambiando las características de albedo de la superficie. La siguiente imagen muestra la estimación de la temperatura de emisión de suelo a partir de imagen satelital en Valparaíso. Se aprecia el crecimiento urbano de 1989 a 2003 y su influencia en el cambio de cobertura.

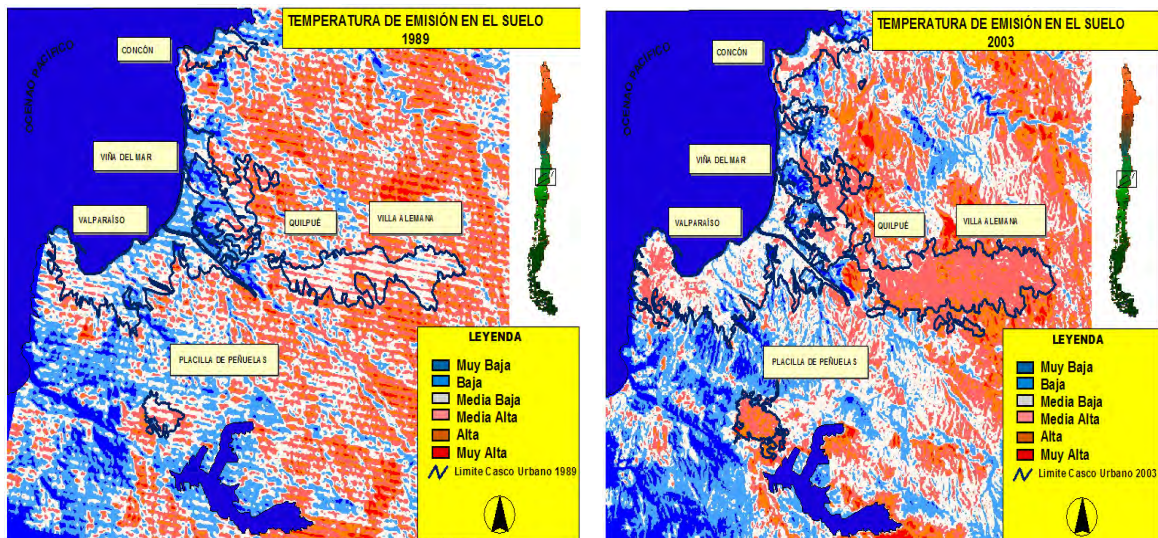


Fig. 3.27 Izquierda, imagen de temperatura de emisión de suelo en Valparaíso y sus alrededores en el año 1999. Fig. 3.28 Derecha, imagen de temperatura de emisión de suelo en Valparaíso y sus alrededores en el año 2003. El cambio de color significa cambio en la temperatura de radiación de suelo que se puede asociar al cambio de cobertura. Se distingue el aumento de temperatura de superficie en las zonas que están dentro del radio urbano.

Fuente: ROMERO, H. y De SOUZA N. 2005.

3.3 SITUACION TOPOGRAFICA GENERAL

En la Región de emplazamiento de Valparaíso, se distingue el relieve de los acantilados costeros, luego el de las cordilleras de la costa y finalmente el de los Andes. En general, quedan planicies entre mar y acantilados o entre mar y cordillera de la costa, entre acantilados y cordillera de la costa y entre Cordillera de la Costa y Cordillera de los Andes. Las condiciones generales de la región caracterizan una zona montañosa central (Cordillera de la Costa) y dos valles: uno hacia el lado interior y otro hacia el lado costero.

Esta variedad topográfica significa una diversidad del clima general de la zona.

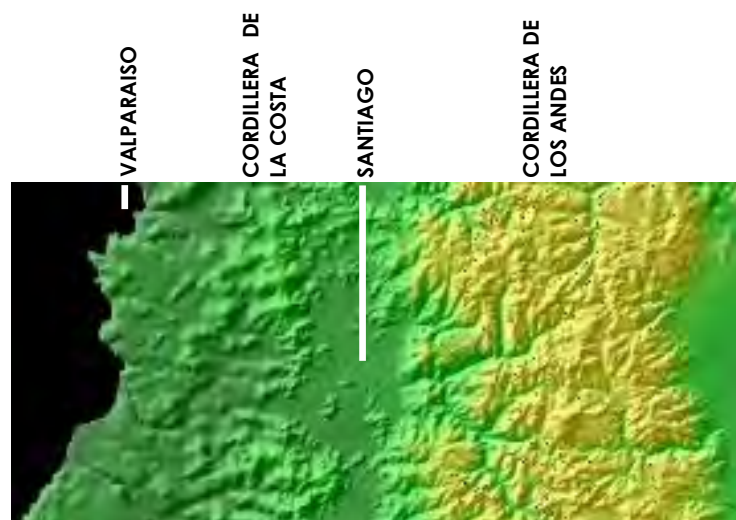


Fig. 3.29 Imagen topográfica superficial de la región central de Chile, indicando los emplazamientos de la ciudad de Valparaíso y Santiago (Capital de Chile) y algunos referentes topográficos significativos (Cordillera de la Costa y Cordillera de los Andes).

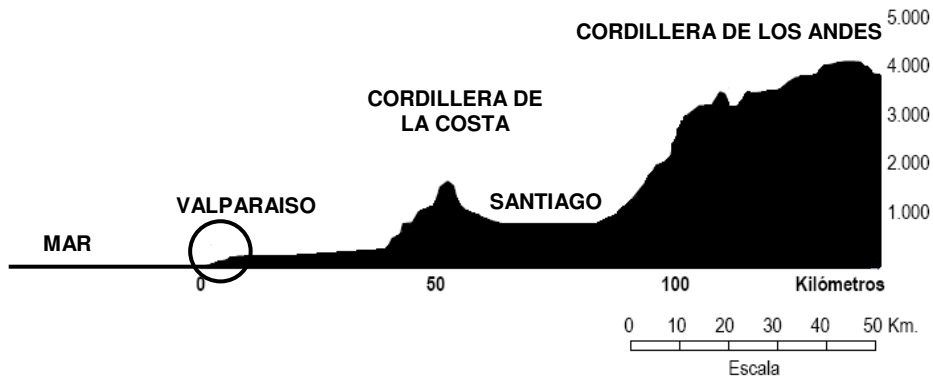


Fig. 3.30 Sección general de Chile central. Se muestra la posición de Valparaíso y los referentes topográficos más importantes.

3.4 CARACTERISTICAS TOPOGRAFICA: VALPARAISO Y TEJIDOS URBANOS

La ciudad, debido a la condición topográfica que ha condicionado a su forma de crecimiento, se presenta difícil de clasificar convencionalmente y sólo algunas zonas son identificables como tejido homogéneo. Mientras en otros es posible encontrar una variedad de formas espaciales, materiales, orientaciones, usos urbanos, etc.

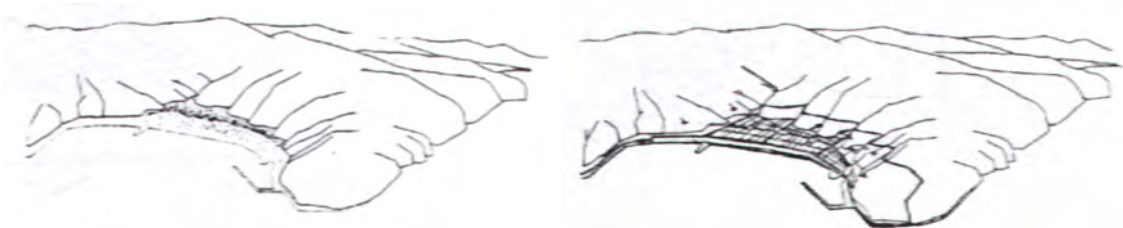


Fig. 3.31 Conformación topográfica y emplazamiento de Valparaíso. Fuente: Oyarzún y otros.

Fig. 3.32 Ocupación general de la ciudad de Valparaíso en el territorio. Fuente: Oyarzún y otros.

Valparaíso se presenta conformada por una zona llana: "el plan", rodeado de cerros, definiendo una especie de anfiteatro, orientado hacia el norte.

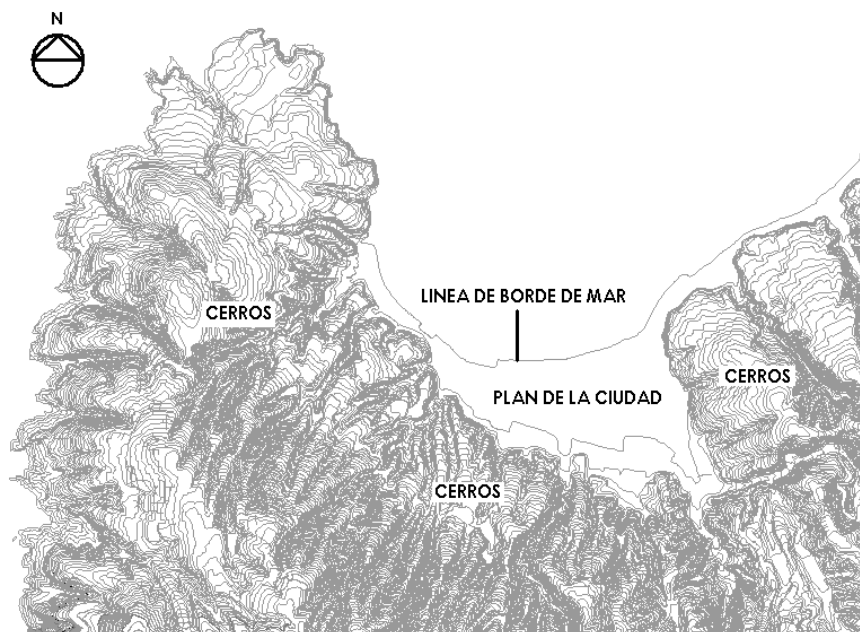


Fig. 3.33 Líneas de curvas de nivel de la ciudad. Se aprecia la forma topográfica rugosa y variada.



Fig. 3.34 Imagen de Valparaíso desde las cimas superiores. Fuente: Claudio Carrasco.

Estas diferentes topografías permiten identificar variadas zonas, que sirven de soporte a distintos tejidos urbanos y que producen un cambio más perceptible de un área a otra, distinguiendo tipologías de emplazamiento descritas a continuación:



Fig. 3.35 Algunas situaciones topográficas características de la ciudad. Fuente: Schweitzer L., Angela, 1982.

Se reconocen las siguientes situaciones:

Situación de Plan:

Corresponde a una zona altamente mineralizada en la que los espacios verdes están principalmente ubicados en las plazas públicas. La gran mayoría de estas plazas corresponde a las situaciones de desemboque original de los cauces naturales de las quebradas principales de la ciudad. Son espacios donde la trama se exterioriza. Esta zona de plan se constituye como una zona de grano de edificación mayor que el de los cerros periféricos, con una mayor densidad de ocupación de terreno, siendo casi el 100 % de las manzanas edificado.



Fig. 3.36 Imagen del plan de la ciudad. Fuente: Claudio Carrasco.

Situación de Pie de cerro;

Corresponde a las situaciones de transición del plan a cerro, donde la pendiente ya es un factor importante. Características de estas zonas son las plazas de pie de cerro, como espacios abiertos y de encuentro entre tramas distintas: Una que obedece a un tejido tipo damero (adaptado) y otra que obedece a una forma orgánica de quebrada y ladera.



Fig. 3.37 Imagen de pie de cerro.del plan de la ciudad y cima de cerro (derecha) y pie de cerro (izquierda, derecha).

Fuente: Claudio Carrasco.

Situación Cima de cerro.

Corresponde a mesetas de poca pendiente, como una situación de plan, que favorece una edificación convencional.

Situaciones de quebradas y Laderas de cerros.

Corresponde a situaciones que determinan el tipo de edificación desde su forma en pendiente y su orientación, con una trama de espacio urbano que se ordena según la pendiente y que normalmente es de calles estrechas y muy interiores.



Fig. 3.38 Situación de convexidad de ladera
Fuente Esquema: Schweitzer L., Angela, 1982.
Fuente Fotografía: Claudio Carrasco.



Fig. 3.39 Situación de Perfil de Quilla de ladera.
Fuente Esquema: Schweitzer L., Angela, op. cit. 1982.
Fuente Fotografía: Claudio Carrasco.



Fig. 3.40 Situación de Concavidad de ladera.
Fuente Esquema: Schweitzer L., Angela, op. cit. 1982.
Fuente Fotografía: Claudio Carrasco.

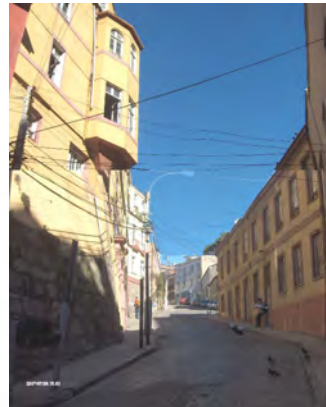
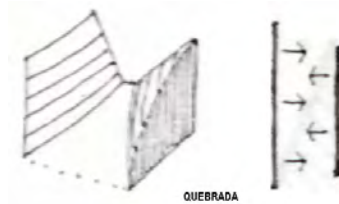


Fig. 3.41 Situación de quebrada entre laderas.
Fuente Esquema: Schweitzer L., Angela, op. cit. 1982.
Fuente Fotografía: Claudio Carrasco.



Fig. 3.42 Imagen de ladera y quebrada de la ciudad. Al fondo se aprecia el plan y el mar.
Fuente: Valparaisochile.cl

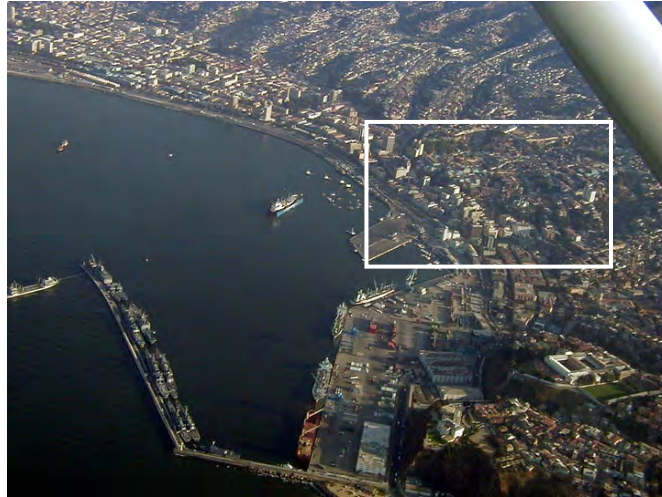


Fig. 3.43 Imagen aérea de Valparaíso. Se distinguen la zona llana del plan y algunos cerros de la ciudad. Se encuadra la zona 2 de estudio en esta investigación. Fuente: <http://www.la91fmchile.cl/noticias/fotos/Valparaiso.jpg>

La volumetría de cerro, presenta un grano de edificación menor que el del plan, al ser volúmenes más pequeños y se adecua de mejor forma a la variación de la pendiente.

3.5 TEJIDOS GEOMÉTRICOS Y TEJIDOS ORGÁNICOS DE VALPARAÍSO

La topografía como una de las condicionantes de las formas urbanas define en la ciudad el crecimiento en tejidos geométricos y tejidos orgánicos.

En las zonas planas del "plan" de la ciudad, o mesetas de cima de cerros, o zonas de pendientes suaves, podemos encontrar trazados geométricos y regulares. En zonas de transición topográfica de pie de cerro y en laderas y quebradas, podemos encontrar tejidos orgánicos y que se acomodan a la forma de la cota para constituirse como tejido, definiendo formas de calles, tamaños de grano edificado, orientaciones, etc.

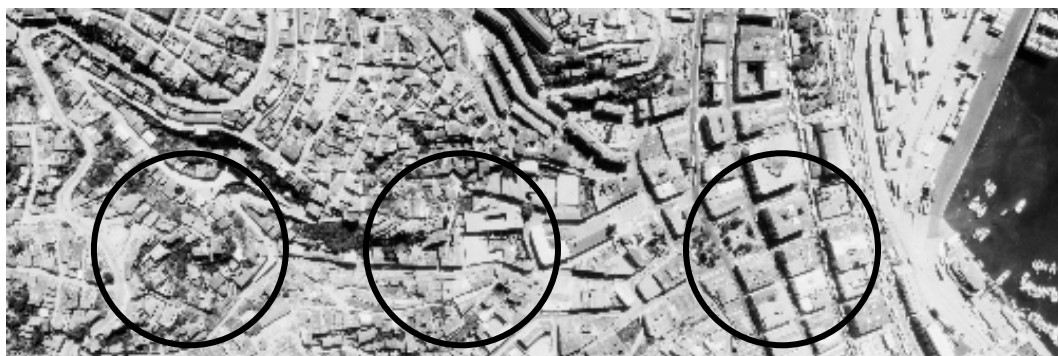


Fig. 3.44 Tejido orgánico Tejido de transición Tejido geométrico
Imagen aérea de tejidos urbanos en Valparaíso. Fuente: Google Earth.

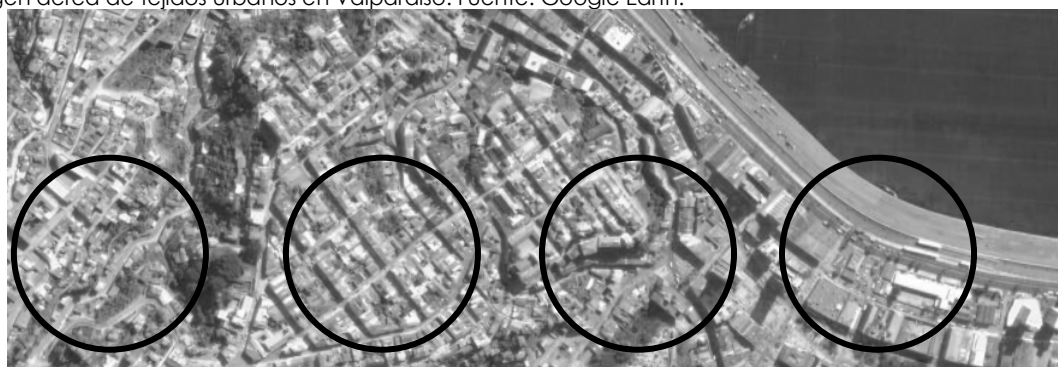


Fig. 3.45 Tejido orgánico Tejido geométrico Tejido de transición Tejido geométrico
Imagen aérea de tejidos urbanos de Valparaíso. Fuente: Google Earth.

Valparaíso al igual que otras ciudades de clima del tipo Mediterráneo Costero, presenta diversas formas de tejidos urbanos.



Fig. 3.46 Tejido geométrico sector Eixample, Barcelona. Fuente: Google Earth.



Fig. 3.47 Tejido orgánico sector Horta-Guinardo, Barcelona. Fuente: Google Earth.

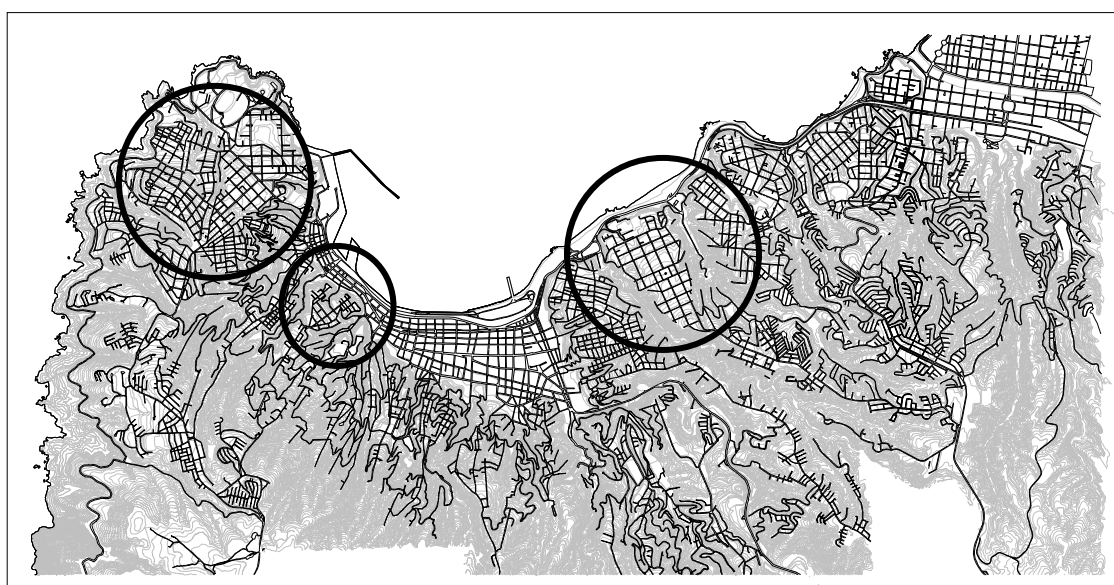


Fig. 3.48 Plano general de la ciudad. Se indican algunos tejidos geométricos de la ciudad emplazados en laderas de pendiente suave.

En el caso particular de Valparaíso, se puede distinguir en el crecimiento y ocupación del territorio, que la tendencia de conformar tejidos geométricos se da en aquellas zonas del plan o de cerro que se presenta con las pendientes más suaves (de 0 a 10 o 15 % aprox.), debiendo “acomodar” los bordes de los tejidos al borde sinuoso de esta condición topográfica. De igual manera se aprecia que aquellas zonas del plan más estrechas albergan los tejidos más comprimidos y las más extendidas, los más amplios, existiendo en las primeras calles más esbeltas y en el segundo, calles más anchas.

Finalmente, como forma de entender un orden de la ciudad, esta se estructura a partir de la existencia de dos grandes áreas: plan y cerro.

La primera se ordena a partir de ejes longitudinales y ejes transversales:

Los longitudinales siguen la forma de la costa.

Los transversales hacen en vínculo entre la estructura de tejido geométrica de plan y la estructura orgánica de cerro a través de estructuras de transición de quebradas y pie de cerro.

La segunda se ordena a partir del acomodo geométrico a un suelo variado e irregular.

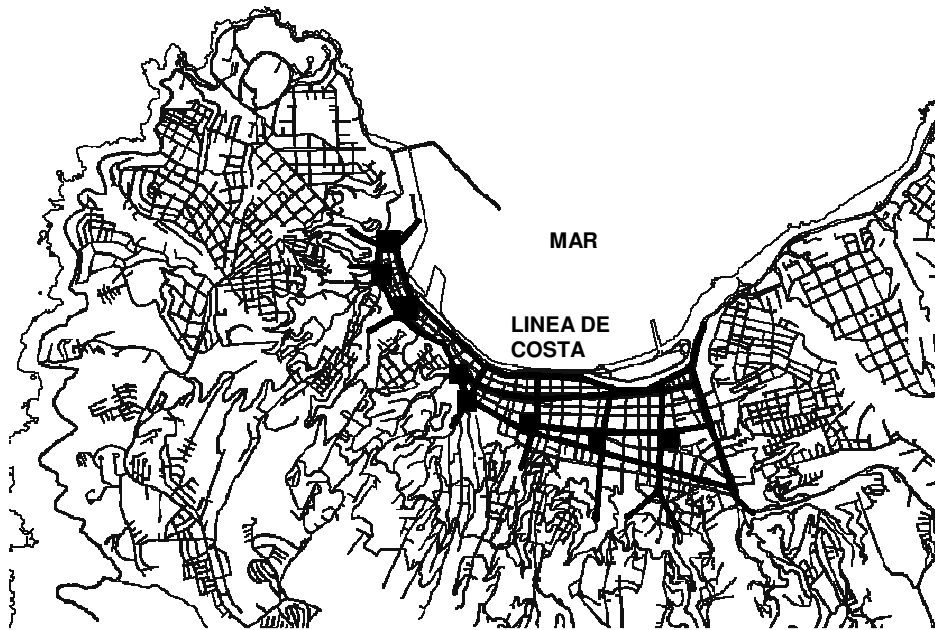


Fig. 3.49 La figura muestra en esquema, sobre el plano de la ciudad, la estructura de ejes longitudinales paralelos a la línea de mar y transversales, perpendiculares a ella, en el plan de la ciudad y los puntos de cruce de estos ejes en donde se emplazan las plazas urbanas.

3.6 DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO CLIMÁTICO DE LA CIUDAD

Si consideramos un punto del plan de la ciudad, de latitud $33^{\circ} 32'$ sur, las inclinaciones solares al mediodía durante los momentos significativos se muestran en la gráfica siguiente.

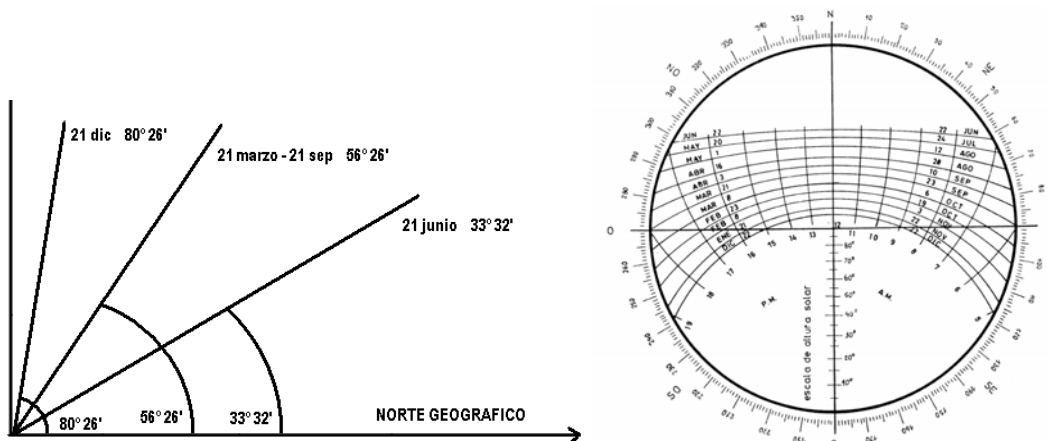


Fig. 3.50 Izquierda. Ángulos de Inclinación solar al mediodía en Valparaíso.

Fig. 3.51 Derecha. Estereográfica de la ciudad.

Para las consideraciones de las características climáticas de la ciudad de Valparaíso, los ángulos de azimut varían entre los 62° a la salida del sol en el solsticio de invierno y 298° a la puesta de sol y 118° a la salida del sol el solsticio de verano y 242° a la puesta de sol. Alcanza una altura máxima de $33,32^{\circ}$ en solsticio de invierno y de $80, 26$, en verano.

Debido a su ubicación en el borde mar, en términos generales, la existencia del Océano Pacífico, como una gran masa de agua, es una primera de las condicionantes climáticas de la ciudad. Esto determina, junto con la corriente de Humboldt, que las direcciones

principales de viento tengan una importante componente desde esa dirección y desplace aire más húmedo sobre el continente.

En verano los vientos son principalmente del sur y sur oeste. Los de invierno, tienen una alta componente norte, debida al desplazamiento hacia el sur, del anticiclón del Pacífico.

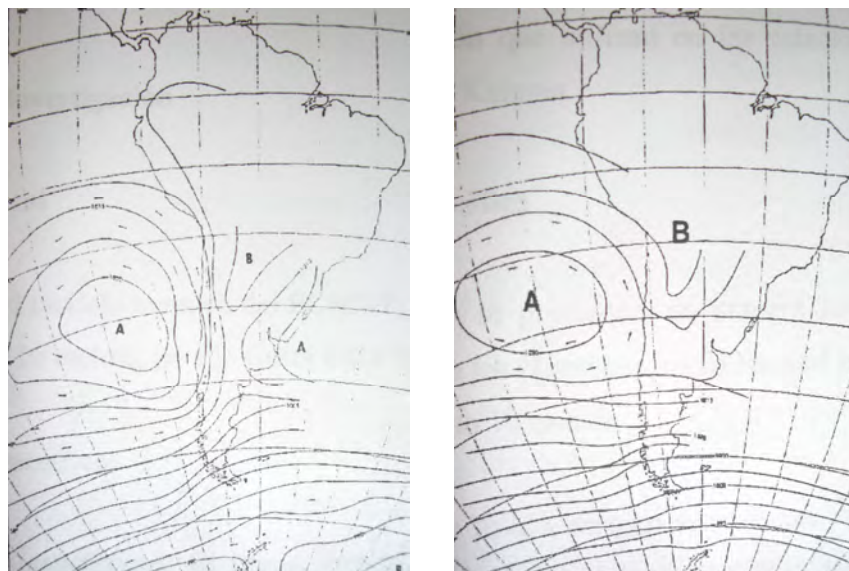


Fig. 3.52 y Fig. 3.53 Presión Atmosférica Reducida al Nivel del Mar en los meses de enero y julio en torno de Valparaíso. Fuente: Instituto Geográfico Militar.

Estas condiciones anteriores proporcionan una regulación de la temperatura en la zona continental.

En torno de la ciudad existen tres estaciones meteorológicas cuya información varía de una a otra, debido a que se encuentran emplazadas en condiciones diversas en altura y exposición a las condiciones de viento generales.

Estación Meteorológica Rodelillos:

Se encuentra emplazada en Latitud: 33° 05 (min.) Sur, Longitud: 71° 34 (min.) Oeste, Altitud: 360 (m.)

Condición de ubicación: fuera de la cuenca urbana de emplazamiento de las zonas de estudio y expuesta a otras condiciones de viento. No cuenta con información diaria completa ni tampoco con información horaria detallada.

Estaciona Meteorológica Faro Punta Angeles:

Se encuentra emplazada en Latitud: 33° 01 (min.) Sur, Longitud: 71° 38 (min.) Oeste, Altitud: 60 (m.)

Condición de ubicación: fuera de la cuenca urbana de emplazamiento de las zonas de estudio, expuesta principalmente a otros vientos. No cuenta con información horaria detallada.

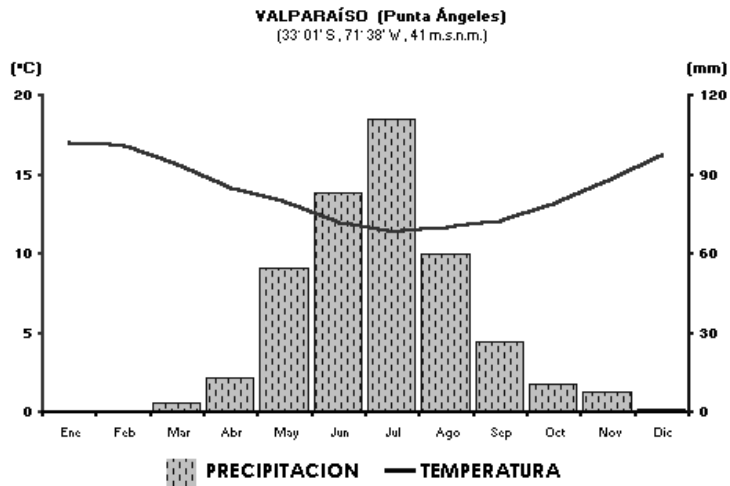


Fig. 3.54 Comportamiento climático anual en la estación meteorológica del Faro Punta Angeles de la ciudad de Valparaíso.

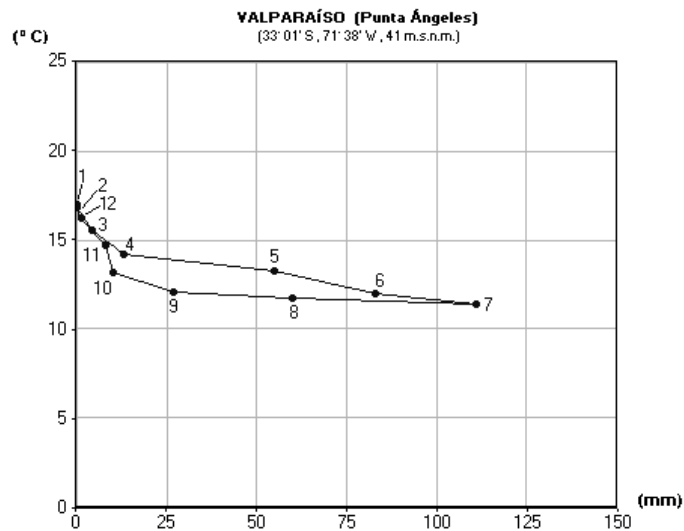


Fig. 3.55 Comportamiento climático anual en la estación meteorológica del Faro Punta Angeles para la ciudad de Valparaíso.

Estación Meteorológica Universidad Federico Santa María (USM):

Se encuentra emplazada en Latitud: 33° 02 (min.) Sur, Longitud: 71° 36 (min.) Oeste, Altitud: 70 (m.)

Condición de ubicación: muy cercana de la cuenca urbana de emplazamiento de las zonas de estudio y en condiciones de borde mar similar, por tanto expuesta a similares variaciones de viento. Cuenta con información diaria completa e información horaria detallada³². Se determina esta estación como referente para el estudio.

Se resume a continuación la caracterización anual de la estación:

³² Esta información es facilitada por Roberto Sota del Laboratorio Solarimétrico de la Universidad Federico Santa María.

VALPARAISO, CONDICION CLIMATICA PROMEDIO ULTIMOS 40 AÑOS

Mes	presión (mb)		Temperatura media en °C				temperaturas extremas		Humedad relativa del aire %			nubosidad 0 a 10			precipitaciones	
	pmax	pmin	7h	13h	18h	media diaria	máxima	mínima	7h	13h	18h	7h	13h	18h	tot	max 1 día
Enero	1013.7	1008.9	15.1	20	20.2	17.8	32.5	7.5	84	65	62	5.8	3.8	2.2	2.9	25.2
Febrero	1014.1	1009.3	14.9	20.1	19.8	17.6	31.2	9.5	85	67	66	5.6	4.1	2.8	2.6	24
Marzo	1014.3	1009.5	13.6	18.8	18.5	16.4	31.5	7	87	66	67	5	3.6	2.8	4.7	38
Abril	1015.4	1010.5	12.6	17.5	15.8	14.5	30.5	5	87	69	74	5.6	5.1	4.5	17.6	72.1
Mayo	1016.5	1011.6	11.2	15.8	14.2	13.2	31	3.8	86	74	79	6.3	6.4	5.8	91	171.5
Junio	1017.6	1012.7	10.2	14.7	13	12	25.2	2.4	84	74	79	6.4	6.2	5.6	134	106.7
Julio	1018.1	1013.2	9.5	14.5	12.5	11.4	27.2	2	84	72	78	6	6.3	6	80.9	80.7
Agosto	1018.5	1013.6	9.6	14.5	12.7	11.6	27.5	3	85	72	78	5.8	5.9	5.8	73.8	103.5
Septiembre	1018.2	1013.3	10.5	15.5	13.7	12.5	25.5	4	85	70	75	6	5.4	5.3	29.3	51.5
Octubre	1017.1	1012.2	11.7	16.6	15	13.7	34.4	4.5	85	67	70	6	5	5.1	16.5	30.8
Noviembre	1016	1011.1	13.2	18.2	17.8	15.6	34	6.5	82	63	64	5.4	4.5	4.2	6.5	36.1
Diciembre	1014.5	1009.7	14.5	19.6	19.1	17	33	9.2	81	62	61	4.8	3.6	2.7	2.9	15.2
Año	1016.2	1011.3	12.2	17.1	16	14.4	34.4	2	85	68	71	5.7	5	4.4	463	171.5
	prom	prom	prom	prom	prom	prom	max	min	prom	prom	prom	prom	prom	prom	total	max

ARCHIVO USM. ROBERTO SOTA

Tabla 3.3 Valparaíso, condición climática promedio últimos 40 años en la estación meteorológica de la USM. Fuente: Laboratorio Solar USM

TEMPERATURA DEL AIRE:

En la Estación USM, se aprecia una temperatura media en enero 17,8 °C y Temperatura media en julio 11,4 °C. Temperatura media anual, 14,4 °C.

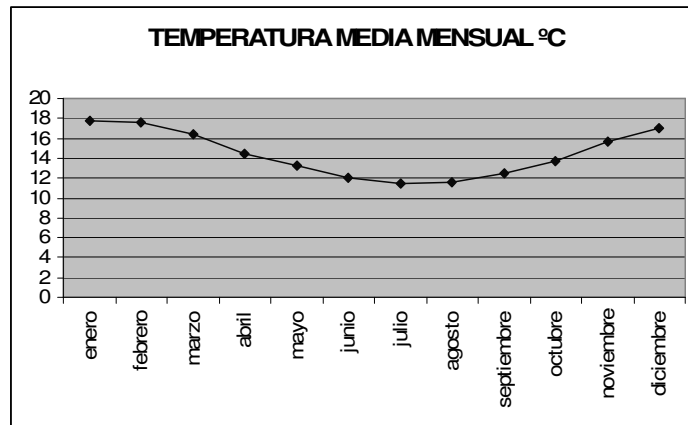


Fig. 3.56 Gráfica de la variación anual de la Temperatura media mensual. Fuente: Laboratorio Solar USM

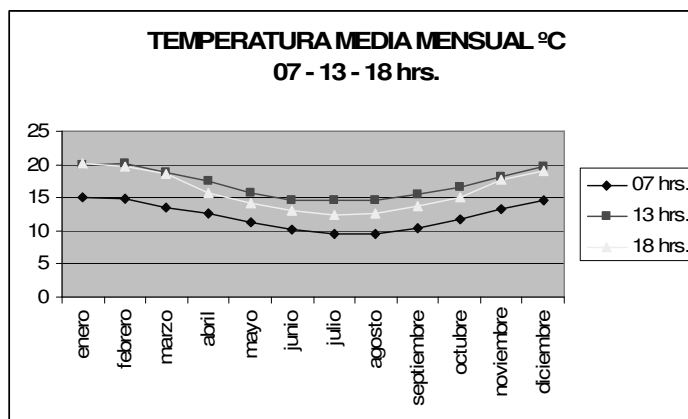


Fig. 3.57 Gráfica de la variación anual de la Temperatura diaria a las 07:00, 13:00 y 18:00 hrs. Fuente: Laboratorio Solar USM

En la Estación USM, se aprecian las siguientes temperaturas medias mensuales para los días y horas indicados:

Temperatura media 07:00 hrs. en enero 15,1°C y en julio 9,5 °C

Temperatura media 13:00 hrs. en enero 20,0 °C y en julio 14,4 °C

Temperatura media 18:00 hrs. en enero 20,2 °C y en julio 12,5 °C

HUMEDAD RELATIVA:

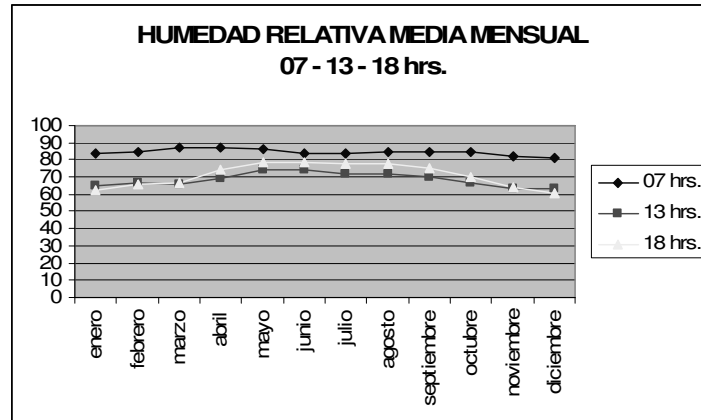


Fig. 3.58 Variación anual de la Humedad Relativa diaria a las 07:00, 13:00 y 18:00 hrs.

En la Estación USM, se aprecian los siguientes valores de humedad relativa para los días y horas indicados:

Humedad Relativa media 07:00 hrs. en enero 84 % y en julio 84 %

Humedad Relativa media 13:00 hrs. en enero 65 % y en julio 72 %

Humedad Relativa media 18:00 hrs. en enero 62 % y en julio 78 %

VIENTO:

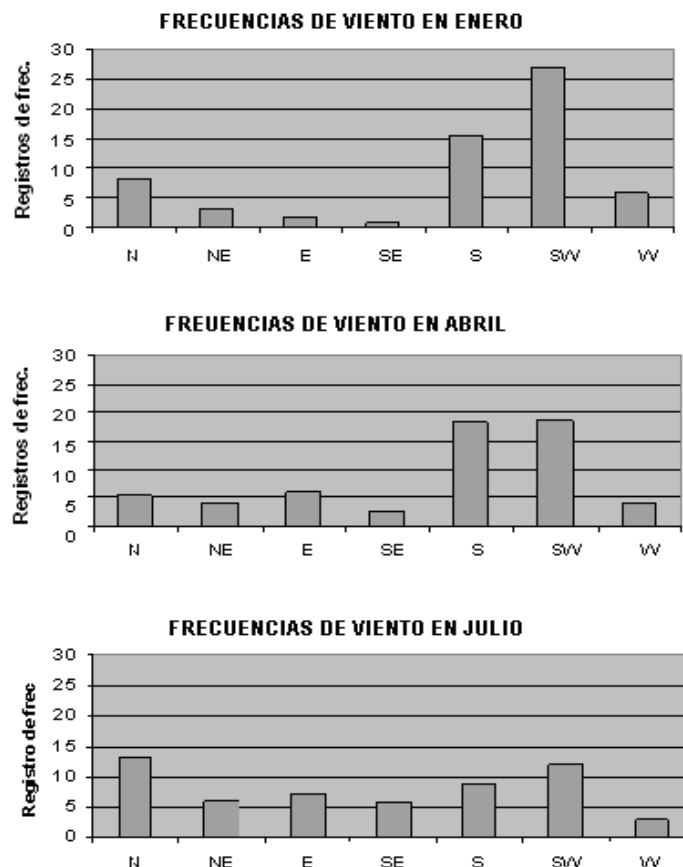


Fig. 3.59, Fig. 3.60, Fig.3.61 Fuente: Laboratorio Solar USM

Los vientos del SW son dominantes desde el mes de septiembre a abril. De los meses de mayo a agosto son dominantes los vientos de N (norte), sin dejar de existir los vientos del SW. Se puede inferir que en la zona del plan de la ciudad, que la brisa marina de verano añade mayor humedad al aire en la ciudad que la brisa de invierno, favoreciendo la regulación de la temperatura del aire estival.

Debido a las temperaturas y humedad descritas, se aprecia, de acuerdo a la grafica de confort de Olgay, que prácticamente, en la estación de USM, durante todo el año se está fuera de los márgenes de confort, necesitando radiación directa para acercarse a la zona confortable.

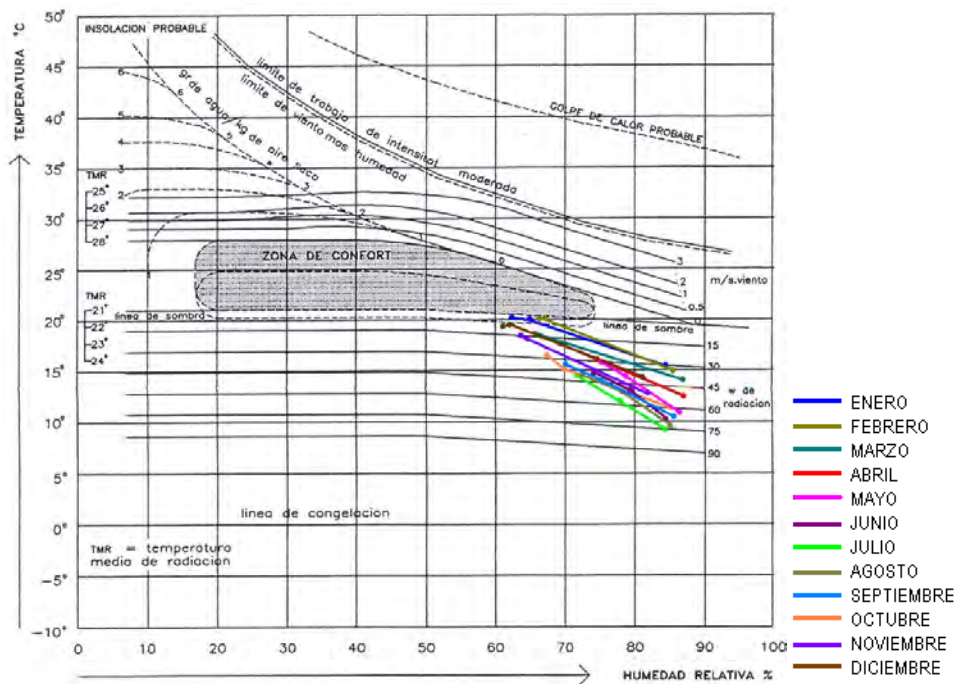


Gráfico 3.1 Condiciones medias mensuales entre las 7 hrs. y las 18 hrs. para la ciudad en la estación USM. Fuente: Elaboración propia.

Si consideramos el ábaco psicrométrico de Givoni, se aprecia que con aplicación de inercia de invierno, es posible acercar el comportamiento climático a la zona de confort. Sin embargo, en parte de los meses de mayo a octubre, principalmente en el periodo de la mañana, acciones tendientes al uso de las energías naturales, en este sentido, no serían suficientes del todo.

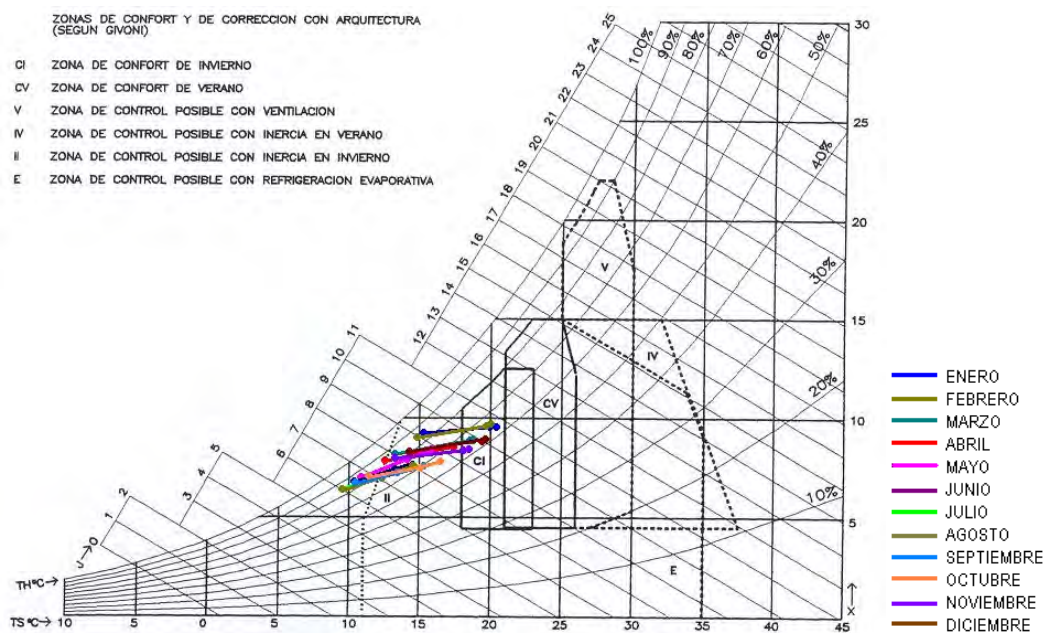


Gráfico 3.2 Condiciones medias mensuales entre las 7 hrs. y las 18 hrs. en la estación USM. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la información señalada y siguiendo los datos de Sarmiento (2008), en la siguiente tabla se indican los grados día para calefacción que se requieren para Valparaíso, considerando una temperatura base de 18,3 °C (65 °F) (Sarmiento, 2008). Estos valores son considerados sólo de referencia, considerando que están en relación al emplazamiento de la estación USM y no a un espacio interior.

ENER	FEBR	MARZ	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
50	47	77	117	158	185	206	197	169	141	95	64	1505

Tabla 3.4 Información mensual de los grados día para calefacción.

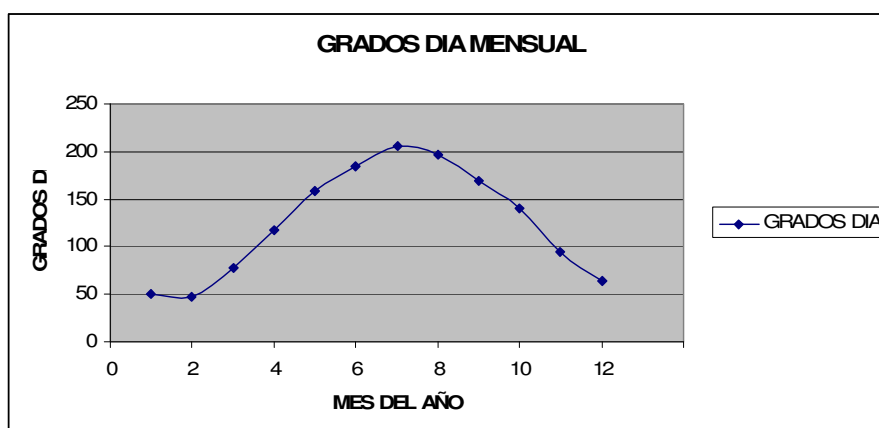


Gráfico 3.3 Información mensual de los grados día para calefacción. Elaboración propia a partir de datos de Sarmiento (2008).

3.7 CONCLUSION PARCIAL. PALABRAS FINALES

De acuerdo a las características de emplazamiento de la ciudad, esta se caracteriza por un clima mediterráneo costero, según a la clasificación de Koeppen y, según la información de la estación meteorológica de la USM, el comportamiento del clima se encuentra mayoritariamente fuera de la zona de confort en la gráfica de Olgay y en el ábaco psicométrico de Givoni.

Los diferentes emplazamientos de las estaciones meteorológicas existentes entorno de la ciudad informan que en cortas distancias horizontales y verticales, las variaciones son significativas respecto de la posición topográfica en que se encuentran: dentro o fuera de la cuenca de la ciudad.

Al interior de la cuenca es posible que la variada topografía de la ciudad favorezca la formación de variados microclimas. Esta topografía es acompañada de una ocupación geométrica u orgánica de los tejidos edificados, diferenciando la ocupación del plan del de pie de cerro, laderas, fondos de quebrada o cimas.

Por otra parte, el crecimiento de la ciudad ha diversificado los tipos de tejidos urbanos y ha ocupado espacios más allá de la cuenca original. En este desarrollo, la marcada presencia de los inmigrantes del norte de Europa ha dado carácter a algunas zonas de la ciudad influenciados por sus culturas formales de climas de origen en latitudes más altas.

Esta variedad de emplazamientos y de tejidos se pone en valor en el estudio.

CAPITULO 4

ESTUDIO DE CASOS

INVESTIGACION DE CAMPO

INDICE CAPITULO 4

	Página
CONTENIDO	173
4.1 ESTUDIO UNO: CLIMA URBANO EN VALPARAÍSO	174
4.1.1 DESCRIPCIÓN	174
Valparaíso ciudad: Recorrido de transectos	176
Valparaíso ciudad: Temperatura urbana de transecto	177
Ejemplo Transecto 3	178
4.1.2 ANÁLISIS de transectos urbanos	179
4.1.3 ANÁLISIS DE CONJUNTO	183
4.1.4 DISCUSIÓN	186
4.1.5 CONCLUSIÓN ESTUDIO UNO	187
4.2 ESTUDIO DOS: MICROCLIMA URBANO EN VALPARAISO	189
4.2.1 DEFINICIÓN DE TIPOLOGÍAS TOPOGRÁFICAS	189
4.2.2 DEFINICIÓN DE TIPOLOGÍAS MORFOLÓGICAS	189
4.2.3 DEFINICIÓN TEJIDOS Y CASOS DE ESTUDIO A PARTIR DE LAS TIPOLOGÍAS DEFINIDAS	190
4.2.3.1 Condición topográfica de emplazamiento continua	190
4.2.3.2 Forma espacial homogénea o características morfológicas comunes	190
4.2.3.3 Programa de las edificaciones	190
4.2.4 DEFINICIÓN ZONAS DE ESTUDIO	191
4.2.5 DEFINICIÓN CASOS PUNTUALES DE ESTUDIO	194
4.2.5.1 Ubicación casos puntuales	197
4.2.6 EVALUACIÓN CUANTITATIVA DEL CLIMA URBANO DE LOS CASOS DE ESTUDIO	197
4.2.6.1 Características morfológicas a evaluar	198
4.2.6.1.1 Orientación	198
4.2.6.1.2 Factor de cielo visible	198
4.2.6.1.3 Factor de Altura Relativa calle (FHR)	201
4.2.6.1.4 Ancho de calle	203
4.2.6.1.5 Relación Alto – Ancho Calle (H/W)	203
4.2.6.2 Variables climáticas de estudio	205
4.2.6.3 Criterios de mediciones en cada caso de estudio	205
4.2.6.4 Fechas de evaluación	205
4.2.7 PRESENTACIÓN Y ESTUDIO ZONA 1	207
4.2.7.1 Situaciones puntuales zona 1	213
4.2.7.2 Descripción morfológica puntual zona 1	229

4.2.7.3	Gráficos de comportamiento microclimático puntual	233
4.2.7.4	Análisis de variables climáticas en casos puntuales zona 1	239
4.2.8	PRESENTACIÓN Y ESTUDIO ZONA 2 (2A - 2B - 2 C)	243
4.2.8.1	Presentación y estudio zona 2 A	248
4.2.8.1.1	Situaciones puntuales zona 2 A	250
4.2.8.1.2	Descripción morfológica puntual zona 2 A	264
4.2.8.1.3	Gráficos de comportamiento microclimático puntual	267
4.2.8.1.4	Análisis de variables climáticas en casos puntuales zona 2 A	274
4.2.8.2	Presentación y estudio zona 2 B	279
4.2.8.2.1	Situaciones puntuales zona 2 B	281
4.2.8.2.2	Descripción morfológica puntual zona 2 B	287
4.2.8.2.3	Gráficos de comportamiento microclimático puntual	290
4.2.8.2.4	Análisis de variables climáticas en casos puntuales zona 2 B	297
4.2.8.3	Presentación y estudio zona 2 C	301
4.2.8.3.1	Situaciones puntuales zona 2 C	303
4.2.8.3.2	Descripción morfológica puntual zona 2 C	308
4.2.8.3.3	Gráficos de comportamiento microclimático puntual	311
4.2.8.3.4	Análisis de variables climáticas en casos puntuales zona 2 C	318
4.2.9	ESTUDIO DE CORRELACIONES ENTRE DESCRIPTORES MORFOLÓGICOS Y MICROCLIMA URBANO	322
4.2.9.1	Para temperatura del aire	322
4.2.9.2	Para humedad relativa del aire	324
4.2.9.3	Para velocidad del viento	326
4.2.9.4	Para radiación puntual	330
4.2.9.5	Para variación de la temperatura	331
4.2.9.6	Estudio de temperatura de radiación de los paramentos	333
4.2.9.7	Estudio de variación de la temperatura	338
4.2.10	CORRELACIONES ENTRE LOS DESCRIPTORES MORFOLÓGICOS ESTUDIADOS	341
4.2.11	ANTECEDENTES DE CONFORT CLIMÁTICO EN VALPARAÍSO: VALOR DEL ESPACIO SOCIAL Y HABITABILIDAD	344
4.2.12	ANTECEDENTE DE ESTUDIO: LA PLAZA COMO ESPACIO SOCIAL	347
4.2.12.1	Conclusión parcial	356
4.2.13	ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA	357
4.2.14	DISCUSIÓN	379
4.2.14.1	Discusión correlaciones	380
4.2.15	CONCLUSION ESTUDIO DOS	384
4.2.16	PALABRAS FINALES	386
4.3	ESTUDIO TRES: MODELO CLIMATICO	389
4.3.1	DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENCIAS ENTRE LAS CONDICIONES CARACTERÍSTICAS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO DE VALPARAÍSO Y DEL EIXAMPLE DE BARCELONA.	390
4.3.2	CONSIDERACIONES INICIALES	391
4.3.2.1	De estación meteorológica de referencia	391

4.3.2.2	De consolidación de tejido	391
4.3.2.3	De alcances de emplazamiento	393
4.3.2.3.1	Primer estudio comparativo	394
4.3.2.3.2	Segundo estudio comparativo	397
4.3.2.3.3	Tercer estudio comparativo	407
4.3.2.3.4	Cuarto estudio comparativo	410
4.3.3	DIFERENCIAS PARA RADIACIÓN SOLAR	413
4.3.4	CONSIDERACIONES DE VIENTO Y DE APORTES DE HUMEDAD DEL MAR EN TEJIDOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE VALPARAÍSO Y EN SITUACIÓN EIXAMPLE BARCELONA	415
4.3.5	CONSIDERACIÓN DE GEOMETRÍA Y EMPLAZAMIENTO	415
4.3.6	TEMPERATURA DE RADIACIÓN, SOMBRA Y VEGETACIÓN	417
	Factor de Vegetación Zona 1	419
	Factor de Vegetación Zona 2	420
4.3.7	COMPORTAMIENTO DE ACTIVIDAD Y USO DE LAS EDIFICACIONES	425
4.3.8	COMPORTAMIENTO DE TRANSITO	427
4.3.9	DESARROLLO MODELO DE CLIMA URBANO	429
4.3.9.1	Datos morfológicos y energéticos característicos zona 2 A en invierno, para modelo climático	430
4.3.9.2	Valores climáticos zonales respecto de la estación meteorológica USM de referencia.	431
4.3.9.3	Comportamiento climático zona 2 A respecto de estación USM	432
4.3.9.4	Relaciones entre las variables climáticas zonales	442
4.3.9.5	Datos morfológicos y de actividad característicos casos de estudio puntual en zona 2 A en invierno, para modelo climático	449
4.3.9.6	Modelamiento zonal	451
4.3.9.7	CONCLUSION ESTUDIO TRES. PALABRAS FINALES	457

