



UNIVERSIDAD DE CHILE

**VICERRECTORIA DE ASUNTOS ACADÉMICOS Y ESTUDIANTILES
DEPARTAMENTO DE POSGRADO Y POSTÍTULO**

**PROGRAMA INTERFACULTADES DE MAGISTER EN GESTIÓN Y
PLANIFICACIÓN AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE MORFOLOGÍA Y MICROCLIMA
URBANOS Y EL MATERIAL PARTICULADO EN LAS COMUNAS DE
SANTIAGO CENTRO Y LAS CONDES**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTIÓN Y
PLANIFICACIÓN AMBIENTAL**

Arq. ALICIA ALARCÓN RAMÍREZ

Directora de tesis: DRA. MARGARITA PRENDEZ BOLIVAR

Santiago de Chile
Abril de 2009

A la memoria de mis padres

A mis hijos Camilo y Rocío

Agradecer a todas las personas que me han acompañado en esta travesía, significaría agregar un segundo tomo a esta tesis: a mi familia, a compañeras y compañeros de trabajo, especialmente del Departamento de Obras y Artes de la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas, amigas y amigos, Alexia, compañeros y profesores del magíster en Gestión y Planificación Ambiental, gracias por su valioso y permanente apoyo. Mi agradecimiento especial a la Sra. Margarita Préndez, mi directora de tesis, por su comprensión, paciencia y generosidad.

TABLA DE CONTENIDOS		página
I	INTRODUCCIÓN	1
II	OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	3
II.1.	Objetivo general.....	3
II.2.	Objetivos específicos.....	3
II.3	Hipótesis.....	4
II.4	Hipótesis específicas.....	4
III	MARCO TEÓRICO	5
III.1	Microclima Urbano	5
III.1.1	Influencia de las condiciones atmosféricas en el espacio urbano	6
III.1.2	Clima y diseño urbano	6
III.1.3	Vegetación.....	7
III.1.4	Temperatura.....	8
III.1.5	Humedad Relativa.....	10
III.1.6	Viento.....	10
III.1.7	Microclima y espacio urbano.....	12
III.2	Medio ambiente y medio urbano.....	13
III.3	Material particulado.....	13
III.3.1	Meteorología asociada a episodios críticos.....	17
III.4	Arquitectura y diseño sustentables.....	18
III.4.1.	Diseño urbano y eficiencia energética.....	19
III.5	Forma urbana.....	20
IV	MATERIALES Y METODOS.....	24
IV.1	Modelo conceptual.....	24
IV.2	Selección de las áreas de estudio	26
IV.2.1	Reseña histórica.....	27
IV.2.2	Caracterización de los sectores de estudio.....	28
IV.3	Morfología urbana.....	33
IV.3.1	Materiales y métodos diseñados.....	33
IV.4	Microclima urbano.....	34
IV.4.1	Materiales y método diseñado.....	34
IV.4.2	Mediciones y registros.....	34
IV.4.3	Método diseñado para el análisis de microclima urbano....	35
IV.5	Material particulado.....	36
IV.5.1	Materiales y método diseñado.....	36
V	DISCUSIÓN Y RESULTADOS.....	38
V.1	Material particulado.MP10	38
V.1.1	Comportamiento del material particulado en Santiago Centro y Las Condes	48

V.2	Morfología urbana.....	52
V.2.1	Orientación de la trama urbana.....	54
V.2.2	Proporción y altura de los edificios.....	54
V.2.3	Análisis del asoleamiento y nivel lumínico.....	55
V.2.4	Influencia de la orientación y el asoleamiento.....	61
V.2.5	Características del uso del suelo.....	62
V.2.6	Influencia de la vegetación.....	64
V.2.7	Discusión de resultados. Influencia de la trama urbana.....	65
V.3	Microclima urbano.....	67
V.3.1	Temperaturas sector Santiago centro.....	67
V.3.2	Temperaturas sector Las Condes.....	74
V.3.3	Análisis de las temperaturas en Santiago centro y Las Condes	77
V.3.4	Humedad relativa sector Santiago centro.....	80
V.3.5	Humedad relativa sector Las Condes.....	84
V.3.6	Vientos.....	88
V.3.7	Influencia del microclima urbano.....	93
VI	CONCLUSIONES.....	95
VI.1	Acerca del método diseñado.....	95
VI.2	Acerca de los resultados.....	96
VI.3	Aplicación del método diseñado.....	97
VI.4	Comentarios.....	98
VII	REFERENCIAS.....	100
VIII	ANEXOS.....	103
	Anexo 1 Material particulado.....	103
	Anexo 2 Microclima urbano.....	109

INDICE DE CUADROS

página

Cuadro 1	Temperaturas de los materiales según hora del día, en °C.....	10
Cuadro 2	Valores de concentración de MP10 de 24 horas para los días estudiados de los años 2004 y 2005.....	50
Cuadro 3	Valores máximos horarios de MP10 para los días estudiados de los años 2004 y 2005.....	51
Cuadro 4	Magnitud de áreas de sombra en los sectores Santiago centro y Las Condes.....	60
Cuadro 5	Superficies de tipos de cubierta en los sectores Santiago centro y Las Condes, en m ²	63
Cuadro 6	Distribución de tipos de cubierta en sectores Santiago centro y Las Condes.....	64
Cuadro 7	Retención de material particulado según tipo de cubierta, en Sectores Santiago centro y Las Condes.....	65
Cuadro 8	Temperaturas promedio diarias, en horario de la mañana en los sectores de estudio.....	79
Cuadro 9	Temperaturas promedio diarias, en horario de la tarde en los sectores de estudio.....	79
Cuadro 10	Humedad relativa promedio diarias, en la mañana, sectores Santiago centro y Las Condes.....	87
Cuadro 11	Humedad relativa promedio diarias, en la tarde, sectores Santiago centro y Las Condes.....	87
Cuadro 12	Velocidad y magnitud de los vientos, porcentajes de calmas, en Santiago centro, en las mañanas, en mayo.....	88
Cuadro 13	Velocidad y magnitud de los vientos, porcentajes de calmas, en Santiago centro, en las mañanas, en junio.....	88
Cuadro 14	Variables microclimáticas, factor de enfriamiento del aire, y sensación térmica, en Santiago centro, en otoño.....	91

Índice de cuadros en anexos.

Anexo 1	Material particulado	
Cuadro 1	Valor de las normas primarias.....	103
Cuadro 2	Resumen de las condiciones de superación de una norma.....	104
Cuadro 3	Eventos de alta contaminación por material particulado, fracción menor a 10 micrones (MP10).....	105
Anexo 2	Microclima urbano	
Cuadro 1	Planilla de observación de microclima.....	109

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Fotografía aérea de la ciudad de Santiago.....	21
Figura 2	Plano esquemático de la ciudad de Santiago y vías concesionadas.....	23
Figura 3	Modelo conceptual del flujo del aire, sin perturbación.....	24
Figura 4	Modelo conceptual del flujo del aire, en un área urbana y la incidencia del material particulado.....	25

Figura 5	Fotografía aérea de la ciudad de Santiago. Ubicación de los sectores de estudio.....	27
Figura 6	Fotografía aérea del sector Santiago centro.....	28
Figura 7	Barrio cívico. Palacio de La Moneda, al fondo Paseo Bulnes.....	30
Figura 8	Barrio cívico. En primer plano Plaza de la Ciudadanía.....	30
Figura 9	Vista aérea de la Alameda B. O' Higgins, hacia el oriente.....	30
Figura 10	Fotografía aérea del sector Las Condes.....	31
Figura 11	Sector Las Condes, calle San Damián / Av. Las Condes.....	32
Figura 12	Sector Las Condes, San Damián, hacia el interior.....	32
Figura 13	Sector Las Condes, centro comercial S. Francisco de Asís / Av. Las Condes.....	32
Figura 14	Ubicación de puntos de observación de microclima, sector Santiago centro.....	36
Figura 15	Ubicación de puntos de observación de microclima, sector Las Condes.....	36
Figura 16	Ubicación de puntos de observación de microclima, sector Santiago centro. Área de representatividad poblacional (EMRP) y estación de monitoreo Parque O' Higgins.....	37
Figura 17	Ubicación de puntos de observación de microclima, sector Las Condes. Área de representatividad poblacional (EMRP) y estación de monitoreo Las Condes.....	37
Figura 18	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 18 de mayo de 2004.....	39
Figura 19	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 19 de mayo de 2004.....	39
Figura 20	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 20 de mayo de 2004.....	39
Figura 21	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 26 de abril de 2005.....	40
Figura 22	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 27 de abril de 2005.....	40
Figura 23	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 28 de abril de 2005.....	40
Figura 24	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 10 de mayo de 2005.....	41
Figura 25	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 11 de mayo de 2005.....	41
Figura 26	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 12 de mayo de 2005.....	41
Figura 27	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 8 de junio de 2004.....	42
Figura 28	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 9 de junio de 2004.....	42
Figura 29	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 10 de junio de 2004.....	42
Figura 30	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 15 de junio de 2004.....	43
Figura 31	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 16 de junio de 2004.....	43

Figura 32	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 17 de junio de 2004.....	43
Figura 33	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 14 de junio de 2005.....	44
Figura 34	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 15 de junio de 2005.....	44
Figura 35	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 16 de junio de 2005.....	44
Figura 36	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 31 de agosto de 2004.....	45
Figura 37	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 1 de septiembre de 2004.....	45
Figura 38	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 2 de septiembre de 2004.....	45
Figura 39	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 14 de septiembre de 2004.....	46
Figura 40	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 15 de septiembre de 2004.....	46
Figura 41	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 16 de septiembre de 2004.....	46
Figura 42	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 15 de diciembre de 2004.....	47
Figura 43	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 16 de diciembre de 2004.....	47
Figura 44	Perfil diario de concentración horaria de MP10, 17 de diciembre de 2004.....	47
Figura 45	Imagen tridimensional, sector Santiago centro.....	52
Figura 46	Imagen tridimensional, sector Las Condes.....	53
Figura 47	Esquema de orientación de la cuadrícula, sector Santiago centro.....	54
Figura 48	Esquema de orientación de la cuadrícula, sector Las Condes.....	54
Figura 49	Proporción calles con respecto a la altura de los edificios, sector Santiago centro.....	55
Figura 50	Proporción calles con respecto a la altura de los edificios, sector Las Condes.....	55
Figura 51	Sector Santiago centro. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de marzo en la mañana.....	56
Figura 52	Sector Santiago centro. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de marzo en la tarde.....	56
Figura 53	Asoleamiento y nivel lumínico, sector Santiago centro, 21 de junio en la mañana.....	56
Figura 54	Sector Santiago centro, Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de junio en la tarde.....	56
Figura 55	Sector Santiago centro. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de septiembre en la mañana.....	57
Figura 56	Sector Santiago centro. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de septiembre en la tarde.....	57
Figura 57	Sector Las Condes. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de marzo en la mañana.....	58

Figura 58	Sector Las Condes. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de marzo en la tarde.....	58
Figura 59	Sector Las Condes. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de junio en la mañana.....	58
Figura 60	Sector Las Condes. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de junio en la tarde.....	58
Figura 61	Sector Las Condes. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de septiembre en la mañana.....	59
Figura 62	Sector Las Condes. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de septiembre en la tarde.....	59
Figura 63	Área sombreada en otoño, sector Santiago centro.....	60
Figura 64	Área sombreada en otoño, sector Las Condes.....	60
Figura 65	Tipos de cubierta, sector Santiago centro.....	62
Figura 66	Tipos de cubierta, sector Las Condes.....	62
Figura 67	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, mayo de 2005, piso 1, en la mañana.....	68
Figura 68	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, mayo de 2005, piso 10, en la mañana.....	68
Figura 69	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, mayo de 2005, piso 1, en la tarde.....	68
Figura 70	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, mayo de 2005, piso 10, en la tarde.....	68
Figura 71	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, junio de 2005, piso 1, en la mañana.....	69
Figura 72	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, junio de 2005, piso 10, en la mañana.....	69
Figura 73	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, junio de 2005, piso 1, en la tarde.....	69
Figura 74	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, junio de 2005, piso 10, en la tarde.....	69
Figura 75	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, septiembre de 2004, piso 1, en la mañana.....	71
Figura 76	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, septiembre de 2004, piso 10, en la mañana.....	71
Figura 77	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, septiembre de 2004, piso 1, en la tarde.....	71
Figura 78	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, septiembre de 2004, piso 10, en la tarde.....	71
Figura 79	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, diciembre de 2004, piso 1, en la mañana.....	72
Figura 80	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, diciembre de 2004, piso 10, en la mañana.....	72
Figura 81	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, diciembre de 2004, piso 1, en la tarde.....	73
Figura 82	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Santiago centro, diciembre de 2004, piso 10, en la tarde.....	73
Figura 83	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Las Condes, mayo de 2005, en la mañana.....	74
Figura 84	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Las Condes, junio de 2005, en la mañana.....	74

Figura 85	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Las Condes, septiembre de 2004, en la mañana	75
Figura 86	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Las Condes, diciembre de 2004, en la mañana.....	75
Figura 87	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Las Condes, mayo de 2005, en la tarde	76
Figura 88	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Las Condes, junio de 2005, en la tarde	76
Figura 89	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Las Condes, septiembre de 2004, en la tarde	76
Figura 90	Isolíneas de temperaturas promedio, sector Las Condes, diciembre de 2004, en la tarde	76
Figura 91	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Santiago centro, mayo de 2005, piso 1, en la mañana.....	80
Figura 92	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Santiago centro, mayo de 2005, piso 10, en la mañana.....	80
Figura 93	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Santiago centro, mayo de 2005, piso 1, en la tarde.....	81
Figura 94	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Santiago centro, mayo de 2005, piso 10, en la tarde.....	81
Figura 95	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Santiago centro, junio de 2005, piso 1, en la mañana.....	82
Figura 96	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Santiago centro, junio de 2005, piso 10, en la mañana.....	82
Figura 97	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Santiago centro, junio de 2005, piso 1, en la tarde.....	82
Figura 98	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Santiago centro, junio de 2005, piso 10, en la tarde.....	82
Figura 99	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Santiago centro, septiembre de 2004, piso 1, en la mañana.....	83
Figura 100	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Santiago centro, septiembre de 2004, piso 10, en la mañana.....	83
Figura 101	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Santiago centro, septiembre de 2004, piso 1, en la tarde.....	83
Figura 102	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Santiago centro, septiembre de 2004, piso 10, en la tarde.....	83
Figura 103	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Las Condes, mayo de 2005, en la mañana.....	84
Figura 104	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Las Condes, mayo de 2005, en la tarde	84
Figura 105	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Las Condes, junio de 2005, en la mañana.....	85
Figura 106	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Las Condes, junio de 2005, en la tarde	85
Figura 107	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Las Condes, septiembre de 2004, en la mañana	86
Figura 108	Isolíneas de humedad relativa promedio, sector Las Condes, septiembre de 2004, en la tarde	86
Figura 109	Sector Santiago Centro. Dirección y magnitud de vientos predominantes, en mayo, en la mañana, primer piso.....	89

Figura 110	Sector Santiago Centro. Dirección y magnitud de vientos predominantes, en mayo, en la mañana, décimo piso.....	89
Figura 111	Sector Santiago Centro. Dirección y magnitud de vientos predominantes, en junio, en la mañana, primer piso.....	90
Figura 112	Sector Santiago Centro. Dirección y magnitud de vientos predominantes, en junio, en la mañana, décimo piso.....	90
Figura 113	Comportamiento de los flujos de aire, sector Santiago centro, corte transversal barrio cívico.....	92
Figura 114	Comportamiento de los flujos de aire, sector Santiago centro, corte longitudinal, barrio cívico.....	92

Índice de figuras en anexos.

Anexo 1	Material particulado	
Figura 1	Red MACAM-2. Estaciones de monitoreo 2004.....	107
Figura 2	Evolución de promedios anuales de MP10, MP2,5 y (MP10-MP2,5). Red MACAM Histórica, 1988 – 2007.....	107
Figura 3	Estadísticas de episodios críticos de contaminación en la región metropolitana.....	108

I INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas urbanos, producto de condiciones morfológicas, geográficas y atmosféricas, la intervención antrópica y los fenómenos de inversión térmica e islas de calor, favorecen la concentración de contaminantes atmosféricos y su escasa dispersión en la atmósfera.

Las características de la estructura física de la ciudad pueden afectar el microclima urbano. Como la estructura de la ciudad se puede controlar por la planificación y el diseño urbano, es posible modificar el clima urbano a través de normas y diseños de nuevos barrios y ciudades. Con cada modificación es posible mejorar el confort de los habitantes al interior o exterior y reducir la demanda de energía de los edificios para calentar en invierno y enfriar en verano (Givoni 1973, citado en MOP, 2000).

La mayoría de la población vive en áreas de la ciudad con altas concentraciones de contaminantes atmosféricos. Diversos estudios indican que la actividad humana contribuye al aumento del calor y a la contaminación atmosférica que genera la zona urbana (Akasaka et al. 2002; Oke, 1978; Romero y Órdenes 2001; Steemers et al. 1998).

En los meses de calor, en diversas ciudades del mundo, el sol da de lleno sobre los vehículos en pleno tráfico; las emisiones de los motores de gasolina y diesel de las anchas avenidas penetran en estrechos pasajes y en los edificios se elevan en el aire hasta cubrir y asfixiar el propio centro de la ciudad, acentuando la temperatura. Los edificios de hormigón, levantados sobre terrenos despojados de árboles y de vegetación natural, mal adaptados al clima, se convierten en “prisiones de fuego” (OMM, 2004).

En invierno, debido a una planificación urbana deficiente y a una arquitectura inadecuada, en ciertas ciudades, como Sao Paulo y Ciudad de México, (Préndez y Ulriksen, 1993), se crean a menudo enormes túneles de viento que permiten que los vientos helados tomen velocidad y amplifiquen el factor de enfriamiento del aire. Para vivir confortablemente en esos edificios en invierno, se consumen enormes cantidades de energía que vuelve a salir, de modo que en el área urbana hace más calor que en las zonas vecinas.

En la Región Metropolitana existe un problema ambiental debido a las emisiones de fuentes fijas y móviles y al emplazamiento del asentamiento humano

en la cuenca de Santiago; ello origina contaminación atmosférica y afecta la calidad de vida de la población. La ubicación de la ciudad entre cerros, la poca ventilación y las condiciones meteorológicas de escala regional, sumado a las emisiones señaladas, producen episodios de contaminación atmosférica estacionales, especialmente en otoño e invierno (Ulriksen, 1993).

La composición química del material particulado, incluye cantidades importantes de elementos y compuestos de tipo inorgánico y orgánico de probada toxicidad, muchos de los cuales se encuentran concentrados en las partículas más finas (menores que $2,5 \mu\text{m}$) y pueden generar serios riesgos para la salud de la población (Préndez, 1993).

En esta tesis se analiza la interrelación de algunos de los parámetros físicos del ecosistema urbano con la trama urbana, el microclima urbano y el material particulado. El conocimiento de las relaciones entre estas variables posibilitaría en el futuro, gestiones informadas y coordinadas en materia de planificación urbana.

II OBJETIVOS E HIPÓTESIS

II.1 Objetivo general

Determinar características de áreas urbanas, de acuerdo a su morfología urbana, el microclima urbano y el material particulado, en dos sectores representativos de la Región Metropolitana, Santiago Centro y Las Condes e integrar las variables para establecer parámetros de diseño y de planificación urbana, a fin de mejorar progresivamente la sustentabilidad en el desarrollo de la ciudad.

II.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la morfología urbana: orientación de las manzanas, proporción de altura de la edificación con respecto al ancho de las calles y tipo de cubierta de suelo.
- Analizar el comportamiento de variables microclimáticas: temperatura, humedad relativa y vientos y su comportamiento a escala local.
- Analizar el comportamiento del material particulado MP10.
- Contrastar los parámetros urbanos: orientación de las manzanas, proporción de edificación, tipo de cubierta de suelo y comportamiento de variables microclimáticas: temperatura, humedad relativa y vientos, con el comportamiento del material particulado MP10.

II.3 Hipótesis

La morfología urbana y las variables de microclima urbano, influyen en la concentración del material particulado MP10, en las distintas áreas de la ciudad.

II.4 Hipótesis específicas

- Las temperaturas y la humedad relativa del aire, en áreas urbanas con mayor porcentaje de superficies urbanizadas, aumentan la concentración de material particulado MP10.
- La mayor presencia de vegetación en áreas urbanas, influye en la concentración del material particulado MP10.
- El flujo del aire, según la orientación, proporción y altura de los edificios, incide en la distribución vertical del material particulado MP10.

III MARCO TEÓRICO

La tierra recibe energía solar con la cual desarrolla los procesos físicos, químicos y biológicos que transforman la materia. El ecosistema urbano está caracterizado por varios factores abióticos: el clima, el agua y los suelos, los cuales dependen del estado físico de la atmósfera, de sus condiciones climáticas y de la radiación solar. La luz solar está constituida por una gama de radiaciones de diferentes longitudes de onda, parte de las cuales se transforman en energía térmica -calor- al ser absorbidas por las superficies.

La radiación solar es una fuente permanente de energía en espacios exteriores; su comportamiento será en ocasiones una energía beneficiosa, como en invierno, así como una fuente perjudicial, en verano. La radiación solar, como otras formas de energía radiante, se emite en forma de ondas electromagnéticas que no calientan el espacio que atraviesan, pero interactúan con la humedad, el polvo y/o la contaminación. La radiación, ante cualquier obstáculo, se puede comportar de tres formas distintas: reflejándose, siendo absorbida o atravesándolo (Neila, 2004). La temperatura del aire exterior se modifica como consecuencia de la radiación que han absorbido las superficies irradiadas y que calientan el aire por convección.

III.1 El microclima urbano

Uno de los factores que influye en el microclima urbano, es la intervención antrópica en las ciudades. La urbanización causa el fenómeno llamado "isla térmica" o "isla de calor", tema extensamente estudiado (Akasaka et al. 2002; Papparelli et al. 2001; Romero et al. 2001; Steemers et al. 1998) que se establecerá como punto de partida para señalar que en la ciudad se produce un aumento de la temperatura con respecto al entorno. Esto ocurre a distinta escala, magnitud y en distintos lugares del planeta.

En áreas urbanas, el flujo de calor de almacenamiento es la captación neta o estado neto de energía por el cambio de la sensibilidad del calor en el desplazamiento (dosel) urbano de la capa de aire entre edificios, la vegetación y el suelo. El área en referencia aquí es la superficie horizontal imaginaria, en la cima de una "caja" que se extiende desde el nivel de la cubierta hasta la superficie de la ciudad (Oke, 1978).

III.1.1 Influencia de las condiciones atmosféricas en el espacio urbano.

La radiación global recibida por la superficie urbana sufre una atenuación debido a la presencia en la atmósfera de aerosoles, líquidos, sólidos y otras especies químicas del orden del 10 a 20 % como promedio, con un 30 % en invierno y cerca del 5 % en verano (Bessemoulin 1980, citado en Hernández, 2000).

Según Landsberg, 1968 (citado en Hernández, 2000) la humedad relativa es menor en la ciudad que en el área rural si se considera que el aporte de agua hacia la atmósfera por proceso de evaporación es menor. En la región rural la energía disponible en el periodo diurno se ocupa, en su mayor parte, en el proceso de evapotranspiración, mientras que en el caso urbano la mayor parte se ocupa en el proceso de transferencia de calor a la atmósfera. Durante la noche, en el caso rural la pérdida de energía por radiación se compensa por conducción en el suelo y por el transporte de calor desde la atmósfera. En el caso urbano, se suma una nueva fuente de energía debido a la generación de calor propia de la ciudad, que durante la noche implica emisión de calor hacia la atmósfera.

III.1.2 Clima y diseño urbano

Las consideraciones del clima en el diseño arquitectónico y urbano, realizado por Givoni, 1973 (citado en MOP, 2000), son una referencia disponible en la climatología urbana, en relación a los estudios realizados en esta materia a nivel internacional, aunque el alcance es al interior de los edificios. Steemers et al. (1998) exploraron la relación entre la geometría de barrios urbanos y los efectos microclimáticos de la radiación solar y desarrollaron técnicas de modelación con importantes resultados de cuantificación de la absorción solar y su relación con el efecto de isla de calor urbana. La forma urbana actúa recíprocamente con el clima, particularmente respecto a la radiación solar, con las implicaciones para temperaturas y disponibilidad de luz solar. En una ciudad con una compleja estructura de cavidades, la geometría urbana, o la 'textura urbana', se espera que atrape más radiación que una ciudad abierta con grandes bloques de edificios.

Olgay (2002) estudió los efectos del clima en la edificación y el impacto de las fuerzas térmicas externas en la edificación. Los lados de un edificio reciben un impacto térmico marcadamente diferente. Los cambios de valor a lo largo de las

estaciones en cada una de las caras de la edificación determina el acceso al asoleamiento en función de la orientación. Una de las maneras en que la textura urbana influencia el clima interior y exterior, es el hecho que los diferentes diseños de la ciudad absorben proporciones diferentes de energía solar. Esto puede ocurrir debido a las diferencias en la interrelación de las cavidades urbanas. La radiación que llega a los muros exteriores de los edificios es en parte reflejada, principalmente hacia otros edificios adyacentes.

Odicino y Fasulo (2001) señalan que, no obstante el interés creciente en la iluminación natural, ésta es medida en forma sistemática y confiable en muy pocos sitios. Los valores de radiación, en sus componentes: global, directa normal, difusa y horizontal, está disponible en muchas estaciones meteorológicas alrededor de todo el mundo. Es posible además con estos valores determinar el índice de claridad. Si la relación entre iluminancia e irradiancia, esto es, la eficacia luminosa, se puede determinar para una localidad dada, los valores de radiación, que son medidos en forma regular y sistemática, se pueden convertir a iluminación, obteniendo así datos de importancia para el diseño y cálculo térmico de edificios.

La eficacia luminosa de la radiación global depende principalmente de la dispersión y de la absorción atmosférica. Tanto la dispersión como la absorción son dependientes, también, de la distancia que la radiación viaja en la atmósfera. Pero, fundamentalmente, la eficacia varía con las condiciones atmosféricas y con los niveles de radiación. La luminancia de cielo claro depende de la posición del sol y la distancia entre éste y el punto de interés sobre la bóveda celeste; depende también de la cantidad de vapor de agua y partículas en la atmósfera. La luminancia de un cielo claro es generalmente varias veces mayor cerca del horizonte, que en el cenit, excepto en la vecindad del sol, donde la luminancia del cielo aumenta. La luminancia del cielo claro mínima se encuentra 90 grados opuesto a la posición del sol (Odicino y Fasulo, 2001).

III.1.3 Vegetación

Para Romero et al. (2001) las áreas vegetadas, sea en forma natural o cultivada, mitigan las islas de calor, influyen en la humedad y en la ventilación, aseguran la infiltración, controlan el escurrimiento y la erosión, retienen y reciclan contaminantes atmosféricos, actúan eficazmente como corredores y parches

vegetales, ofertan sitios de recreación y vistas panorámicas y por todo ello, son componentes insustituibles de la calidad de vida y sustentabilidad de la ciudad.

Otro aspecto a considerar, respecto al rol de la vegetación, son las emisiones evitadas debido al ahorro en el consumo energético; en este sentido, el arbolado urbano actúa como interceptor de los rayos solares en invierno (intercepción del 30 % para árboles de hoja caduca en dicha época del año). Hasta tanto no transcurren los años de madurez de la especie, los efectos como rompeviento no anulan los efectos de intercepción solar, debido al crecimiento del árbol. (Seoane y Evans 2001).

Existen beneficios adicionales en el uso de arbolado en áreas urbanas que tienen una importancia significativa, como la capacidad para reducir las emisiones provenientes de los vehículos, disminución de la temperatura en calles y, en los meses de verano, el confort producido por la baja de temperaturas ocasionada por la sombra directa sobre la edificación. Folla et al. (2001) señala que los árboles retienen partículas y que el efecto de la sombra producida en áreas urbanas puede reducir el consumo de energía eléctrica para refrigeración de las viviendas y edificios, así como también, en invierno pueden actuar como interceptor de vientos, disminuyendo de esta manera el consumo de gas para calefacción. La utilización de árboles en áreas urbanas puede producir una disminución en la demanda para refrigeración debido a la menor temperatura y mayor humedad que puede darse en corredores arbolados, mediante el análisis de las emisiones de CO₂ que serían liberadas y las que, por causa del arbolado, evitarían ser emitidas. Los resultados indicaron que por efectos de la intercepción solar, del viento y de las tasas de secuestro del arbolado, en un período de 40 años, se evitaría la emisión de 85,19 toneladas de CO₂, con la consecuente disminución de gastos de energía eléctrica y gas natural, además de los otros beneficios del arbolado en áreas urbanas. Los efectos negativos que se presentan con el arbolado urbano, están relacionados con el aumento de consumo de gas natural para calefacción en los meses de invierno debido a la intercepción solar.

III.1.4 Temperatura

La Organización Meteorológica Mundial ha señalado que las ciudades afectan gravemente el clima de la tierra. Tanto en invierno como en verano, la ciudad es un centro de calor saturado de energía. No sólo el transporte, sino el tipo de material de construcción utilizado, el corte de un árbol o el riego de un cultivo, contribuyen al calor y la contaminación que genera la zona urbana. El consumo de energía y los desechos de la ciudad modifican el aire que respiramos y la cantidad de radiación solar que filtra a través de la atmósfera. Además, las ciudades crean su propio microclima y existe un clima urbano, diferenciado del entorno circundante por la presencia de la urbanización (Fariña, 2001; OMM, 2004).

En un clima urbano existen dos niveles, uno que considera las características climáticas que se originan en el conjunto de la ciudad y el otro que relaciona los distintos elementos existentes en una ciudad. Oke (1978) llamó a cada uno de estos sectores capa límite y palio o dosel urbano, respectivamente. La capa límite es la capa de mezcla o turbulencia generada por la rugosidad de la superficie y los movimientos convectivos asociados al calentamiento del aire en contacto con el suelo. Esta capa en la ciudad puede alcanzar varios metros, dando lugar a la formación de la conocida cúpula de contaminación que existe sobre las urbes. El palio o dosel urbano es el espacio comprendido entre el suelo y los tejados de los edificios.

En el dosel urbano se originan una serie de microclimas, en los que el viento y la temperatura sufren importantes modificaciones. Estos climas van a estar determinados por la amplitud de la red vial, altura y orientación de los edificios y los materiales de las distintas construcciones. Hernández (2000) señala la diferencia entre las temperaturas de los distintos materiales de suelo: asfalto, pavimento, césped y agua, datos de temperatura captada en Madrid mediante un termómetro infrarrojo, con situaciones estables, en horario de mañana. Los datos se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Temperaturas de los materiales, según hora del día, en °C.

Hora	Asfalto	Pavimento	Césped	Agua
9:45	23	21	17	14
12:45	40	27	24	22
14:30	47	39	24	26
16:30	51	43	24	22

Fuente: Hernández, 2000.

III.1.5 Humedad relativa

En las áreas urbanas, la humedad disminuye notablemente al existir poca evaporación, ya que el suelo impermeabilizado no retiene agua, facilitando la escorrentía. Este fenómeno también tiene incidencia en que existe una disminución muy importante de los niveles de las napas subterráneas, ya que con la ausencia del suelo natural no hay infiltración por lo que no hay alimentación de las napas freáticas. Además, en las ciudades existen sistemas de alcantarillados y colectores de aguas lluvias que no se integran al sistema de las napas subterráneas, por lo que esta agua se pierde.

La humedad relativa se relaciona con el comportamiento de la temperatura del aire. El incremento de la temperatura lleva, en general, a la disminución de la humedad relativa (Dorighello, 2002). Según Landsberg, 1968 (citado Hernández, 2000) en la humedad relativa es menor en la ciudad que en las áreas rurales. Si se considera que el aporte de agua hacia la atmósfera por proceso de evapotranspiración es menor, es lógico pensar que el contenido de vapor de agua disminuye en el ambiente urbano. Además, la presencia de la naturaleza en la ciudad se justifica para reducir la contaminación ambiental, ya que las hojas sirven para el depósito del material particulado en suspensión y como filtro y freno a la velocidad del viento (Fariña, 2001).

III.1.6 Viento

Los principales aspectos que influyen en el transporte y dispersión de los contaminantes en relación al clima y aspectos meteorológicos, son: la velocidad y dirección de los vientos, las turbulencias atmosféricas y la alteración de la

dispersión vertical de los contaminantes debido al efecto de barrera que produce la capa de inversión térmica. El mecanismo principal que produce movimiento de aire en la cuenca, es el calentamiento de la superficie. Además del transporte de contaminantes asociado al movimiento medio del aire, se produce dispersión por la turbulencia presente. La intensidad de la turbulencia atmosférica depende de las interacciones del aire con la superficie, especialmente de sus características de rugosidad y de los intercambios de calor entre el suelo y la atmósfera. El flujo de aire en la cuenca en invierno es más débil que en verano (Ulriksen, 1993; Evans 2005). En zonas de relieve complejo y de rugosidad elevada, como el caso de áreas urbanas, se desarrollan mayores niveles de turbulencia que en zonas planas y lisas (Préndez y Ulriksen, 1993).

En las calles encerradas por edificios altos, se producen efectos especiales causados por “cajones urbanos” (Oke, 1978). El flujo es canalizado cuando la dirección del viento es cercana al eje de la calle. En las calles orientadas en forma perpendicular al flujo predominante sobre los edificios, se produce un efecto de bloqueo y se pueden desarrollar vórtices estacionarios dentro del cajón urbano. Estos fenómenos son complicados además por el efecto del balance de energía superficial; aquellas paredes que reciben buena insolación tienden a generar corrientes convectivas ascendentes, mientras que las que están en sombra, pueden originar efectos de enfriamiento y corrientes descendentes.

El comportamiento del viento en los primeros metros de altura sobre la superficie terrestre tiene un comportamiento diferente según la característica urbana o rural del suelo. En esta zona, el viento es frenado por diversos obstáculos dando lugar al fenómeno de fricción superficial que sumado al calentamiento por radiación solar de los volúmenes construidos, genera aceleraciones y turbulencias en los espacios exteriores (De Schiller et al., 2001).

Los efectos urbanos analizados, se basan en que la presencia de la ciudad modifica de diversas maneras las condiciones atmosféricas naturales de la cuenca, donde las características de la superficie cambian notablemente, las construcciones alteran la rugosidad natural y la humedad disponible en el suelo y el balance de energía en la superficie y dan lugar a la aparición de una capa atmosférica urbana que suele ser más seca y cálida que el entorno.

La ventilación de la cuenca de Santiago se produce principalmente por un sistema de brisas generadas localmente. El principal mecanismo que produce

movimiento de aire en la cuenca es el calentamiento de la superficie. Durante el día se desarrollan brisas que soplan por los valles hacia arriba alcanzando su mayor intensidad durante la tarde. Durante la noche, el enfriamiento de la superficie, especialmente en cerros y laderas, produce una capa delgada de aire más denso que se desliza pendiente abajo, canalizándose por los valles hacia la cuenca. La brisa nocturna es en general más débil que el flujo diurno y presenta direcciones contrarias (Ulriksen, 1993).

En los meses de invierno el flujo de aire dentro de la cuenca es mucho más débil que en verano, debido a la menor disponibilidad de radiación solar. Durante el invierno las velocidades medias en las tardes en Santiago son cercanas a 2 m/s, mientras que en verano alcanzan valores del orden de 5 m/s entre las 16 y 19 horas. La brisa nocturna es mucho más débil; entre las 00 y 07 horas las velocidades medias están comprendidas entre 1,0 y 1,5 m/s (Guzmán 1984, citado en Ulriksen, 1993).

Evans et al., (2001) indican que el valor perceptible del viento por el hombre supera los 0,25 m/seg y que el efecto de enfriamiento de 1,3 °C se produce con temperaturas de 20 °C. Por otra parte si la velocidad del viento es de 1 m/seg, el efecto de enfriamiento percibido es de 4,5 °C.

III.1.7 Microclima y espacio urbano

El espacio construido actúa sobre la temperatura y la humedad relativa generando transformaciones. En primer lugar, la sustitución del suelo natural por edificaciones con el consiguiente aumento de la rugosidad, provoca disminución de la velocidad del viento y aumento de turbulencia; en segundo lugar, la sustitución del suelo natural por superficies impermeables (asfalto, pavimento) sumado al sistema de drenaje artificial (alcantarillado) reduce la evaporación y favorece la rápida escorrentía superficial; en tercer término, las características físicas de los materiales en la ciudad muy distintas a los del medio natural, provoca grandes diferencias en el albedo, siendo éste bastante menor en la superficie urbana, por lo que hay gran retención de calor.

La radiación solar directa es bastante menor en las ciudades, debido a la contaminación y a las sombras creadas por los edificios. La iluminación disminuye debido a la altura de las edificaciones y al ancho de las calles. Las superficies

destinadas a patios juegan un papel importante favoreciendo el acceso al sol y a las brisas de verano. Desde el punto de vista de la conservación de energía, esto significa mayores pérdidas a través de las superficies expuestas. En el caso de una volumetría edilicia más compacta, mejora la conservación de energía (Seoane y Evans, 2001).

III.2 Medio ambiente y medio urbano

Serra y Coch (1995) e Higuera (1998) han estudiado las relaciones entre el medio ambiente y el medio urbano, determinando y aislando las variables interactivas, para considerar la planificación urbana con criterios de economía energética y de aprovechamiento de los recursos de cada localidad y equilibrar el diseño urbano con las variables climáticas, topográficas y específicas de cada lugar. Experiencias recientes, han demostrado que es posible reducir el consumo de agua, de energía y la contaminación, proporcionando un mejor microclima local.

Un caso típico del problema de contaminación atmosférica a nivel regional lo constituye la cuenca de Santiago (33.5 °S, 70.8 °W). Está ubicada en la depresión intermedia de la zona central de Chile, al pié de la cordillera de Los Andes, en la zona de los ríos Mapocho y Maipo; entre las cotas 400 y 900 m sobre el nivel del mar. La ciudad y su entorno están afectados por la acumulación de contaminantes en la atmósfera. (Préndez y Ulriksen, 1993).

La evaluación ambiental de la ciudad de Santiago permite observar un complejo mosaico de condiciones ambientales. Estas perturbaciones son causadas inadvertidamente por la urbanización; dependen de los usos del suelo y de las densidades de ocupación y se caracterizan por aumentar la temperatura, disminuir la humedad del aire y desarrollar un efecto de rugosidad, los cuales aumentan la concentración de contaminantes (Romero y Órdenes, 2001).

III.3 Material particulado

El material particulado o aerosoles atmosféricos, se definen como partículas sólidas o líquidas, suspendidas en un gas, en este caso la atmósfera. Se clasifica de acuerdo a su diámetro aerodinámico. Desde el punto de vista de la salud humana los rangos de material particulado de mayor interés son: el material de

diámetro igual o menor de 10 μm o MP10, denominado también material particulado respirable, y el material de diámetro igual o menor de 2,5 μm o MP2,5 (Préndez, 1993).

La razón básica por la cual la contaminación se ha transformado en un problema mayor en algunas áreas urbanas, es el aumento de la cantidad de emisiones de contaminantes desde fuentes antropogénicas. Sin embargo, el volumen de aire en el cual se tienen que diluir dichas emisiones, está determinado de manera directa por los factores meteorológicos que imperan en una región (Préndez y Ulriksen, 1993).

La composición química del material particulado incluye cantidades importantes de elementos y compuestos de tipo inorgánico y orgánico de probada toxicidad, muchos de los cuales se encuentran concentrados en las partículas más finas (menores que 2,5 μm) y pueden generar serios riesgos para la salud de la población (Préndez, 1993).

A nivel regional, un caso típico del problema de contaminación atmosférica lo constituye la cuenca de Santiago (zona central de Chile, a 33,5° de latitud S), en la cual toda el área de la ciudad y su entorno están afectados por la acumulación de contaminantes en la atmósfera. El principal contaminante que afecta la calidad del aire de la ciudad de Santiago es el MP10. Las altas concentraciones de material particulado en toda la ciudad, de monóxido de carbono en las áreas más céntricas y de ozono en el área oriente, generan alarma en la población. Los elevados índices de contaminación, en especial en los meses de otoño-invierno y los problemas de salud, aparentemente vinculados, suscitan la preocupación y el interés de la comunidad, medios de comunicación, autoridades y algunos sectores empresariales (Préndez y Ulriksen, 1993).

En la cuenca de Santiago, el MP10 se monitorea en forma continua por la Red de Monitoreo Automática de Contaminantes Atmosféricos, MACAM-1, desde el año 1989. En 1996, la Red fue ampliada para una mejor representatividad espacial, transformándose en MACAM-2 (ver figura 1, anexo 1) con siete estaciones, todas ellas con monitores continuos de MP10 y monitores de gases (CONAMA, 2005c).

La información experimental recopilada por CONAMA, investigadores chilenos y extranjeros y las experiencias de otros países condujeron a la dictación de una norma primaria para MP10 en el año 1992 (D.S. N°185/92 del Ministerio de Minería). El Decreto Supremo N°185, definió el valor de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ como límite de

24 h para el MP10. En el año 2006 entró en vigencia además la norma anual de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, valor de excedencia de la media aritmética anual, conservándose la norma aritmética diaria de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en el percentil 98 (CONAMA, 2008c). Ver cuadros 1 y 2 en anexo 1.

En Santiago, una fuente de origen natural, tiene un peso muy importante en las emisiones de material particulado, el cual supera en diversas ocasiones la norma oficial de MP10. La generación de la fracción gruesa MP10 (2,5 a 10 μm), se asocia al polvo resuspendido en las calles, tratamiento de áridos y actividades de construcción. El material particulado MP2,5 o fracción fina, tiene un impacto significativo sobre la salud por su mayor grado de penetración y permanencia en el aparato respiratorio, lo que combinado con su composición química lo hace más peligroso. Este material se asocia a fuentes antropogénicas tales como procesos industriales, procesos de combustión, emisiones de vehículos, etc. (CONAMA, 2005a).

La información entregada por SEREMI (2008b) para los promedios anuales de MP10 registrada en las estaciones de monitoreo entre los años 1988 y 2007, muestra que existe una disminución del MP10 hasta el año 2004, a partir del cual se incrementan las concentraciones, siendo mayor el crecimiento observado para el MP10 fracción gruesa. Por su parte, la fracción fina ha registrado una reducción sostenida, llegando el año 2004 al 57 % de la concentración registrada el año 1989, reducción que es consistente con las medidas orientadas a controlar los procesos de combustión: congelamiento de emisiones del sector industrial, retiro de más de 3 mil buses antiguos a comienzos de la década de los noventa, mejoramiento de los combustibles diesel y gasolinas, introducción del gas natural en la industria, entre otras medidas (ver Anexo 1, figura 2).

Para el período 1989 a 2007, la evolución de la fracción fina del material particulado presenta una reducción acumulada del 53 %, por lo que la reducción de MP10 se debe mayoritariamente a la reducción del MP2,5. La fracción gruesa en cambio, muestra una tendencia creciente hasta el año 1996, la que se revierte con la implementación de programas de pavimentación, de lavado y aspirado de calles (SEREMI, 2008b).

La evolución del material particulado, medida en la red MACAM-2, entre los años 1997 y 2007, indica que hubo 112 días sobre la norma durante el año 1997 y 60 días en el año 2007 (SEREMI, 2008b).

Por otra parte, el inventario de emisiones atmosféricas 2005 establece las emisiones de las fuentes de MP10, MP2,5, CO, NOx, SO₂ y NH₃, incluyendo la implementación de las medidas del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA) vigentes a ese año, es decir, el sistema de transporte público funcionado con la licitación de recorridos anterior a la entrada en régimen del Transantiago, y las medidas de fuentes fijas industriales en su estado de avance de cumplimiento, según lo informado en la base de datos oficial entregada por la Autoridad Sanitaria de la Región Metropolitana (SEREMI, 2008b)

De acuerdo a la información entregada por CONAMA (2005a) la participación de las distintas fuentes antropogénicas a las concentraciones de MP10 en la Región Metropolitana es: buses 8,0 %, camiones 14,5 %, vehículos livianos y comerciales 18,2 %, industria 24,6 %, residenciales 11,0 % y otras fuentes 23,7 % (las que incluyen quemas agrícolas, maquinaria fuera de ruta, crianzas de animales, etc).

El Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA) estableció además, la necesidad de crear un modelo de pronóstico de episodios de contaminación, debido a la importancia de anticipar las medidas de control y de resguardo a la población frente a la ocurrencia de situaciones críticas. Por su parte, el Decreto Supremo N° 59 de 1998, que establece la norma de calidad primaria para MP10, incluyó los requerimientos que debe satisfacer una metodología de pronóstico de calidad de aire.

La primera aplicación de un modelo de pronóstico de calidad de aire en la ciudad de Santiago, partió en julio de 1998. Para optimizar esta herramienta, se estableció el modelo Cassmassi que utilizó información de calidad de aire medida por la red MACAM-2 e información meteorológica de altura de la zona central del país, entre el 1º de abril y el 17 de septiembre de los años 1997 y 1998.

El modelo Cassmassi pronostica el valor máximo de concentración promedio de 24 horas de MP10, para el período de 00 a 24 horas del día siguiente, expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en cada una de las estaciones de la red MACAM-2 con representatividad poblacional (EMRP). La concentración pronosticada para el día siguiente se calcula mediante ecuaciones diferentes para cada estación de monitoreo de calidad de aire.

El objetivo del sistema de pronóstico es entregar las herramientas para que la autoridad competente determine los días de alerta, pre-emergencia y emergencia ambiental. Las concentraciones de MP10 que determinan dichas condiciones se indican en el cuadro 1 en el anexo 1. Por otra parte, el valor $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ promedio de 24 h, corresponde al índice de calidad del aire por partículas, ICAP 100 (Índice de Calidad del Aire referido a Partículas). Para el modelo de pronóstico de episodio crítico, éstos aparecen cuando se supera el valor $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ promedio de 24 h, en la estación de monitoreo que presenta el máximo de 24 h para el conjunto de todas las estaciones de la Red Macam y la autoridad sanitaria debe decretar alerta ambiental (ICAP 200, correspondiente al rango $195\text{-}239 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$), pre-emergencia (ICAP 300, correspondiente al rango $240\text{-}329 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y emergencia (ICAP 500, correspondiente al rango 330 o más $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$).

Así, la información entregada por SEREMI (2008b) muestra que en el caso de las Alertas, Preemergencias y Emergencias, el número de días se redujo de 38, 37 y 4, respectivamente en 1997, a 22, 6 y 0 en el año 2007 (ver cuadro 3 y figura 3, anexo 1). Además, los valores máximos diarios de MP10 muestran una reducción desde $317 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $233 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el mismo período.

La mayor cantidad de eventos se produce en los meses de otoño e invierno. El año 2003, hubo 21 eventos de alerta ambiental, en las estaciones de otoño e invierno; y 5 preemergencias en el mismo período. El año 2004, esta cifra disminuyó, a 13 alertas ambientales y 2 preemergencias. El año 2005 hubo 7 alertas y 2 preemergencias, aumentando estas cifras a 21 y 27 alertas ambientales, los años 2006 y 2007 respectivamente, y registrándose 3 y 4 preemergencias ambientales, en los años 2006 y 2007 (cuadro 3 y figura 3, anexo 1)

III.3.1 Meteorología asociada a episodios críticos

La cuenca de Santiago, presenta patrones meteorológicos de transición entre las condiciones áridas de la zona norte y la alta pluviosidad característica de la zona sur, lo que se traduce en marcadas variaciones de temperatura y precipitación para la cuenca entre los períodos de otoño-invierno y primavera verano.

Las condiciones de ventilación y dispersión de contaminantes dependen de las diferentes configuraciones meteorológicas que a escalas sinóptica, regional y

local, evolucionan sobre la zona central, potenciadas por su topografía. Los episodios por MP10 que se registran en el período otoño-invierno, se asocian a las configuraciones meteorológicas denominados Tipo A y BPF (Rutllant, 1994, citado en CONAMA, 2005a).

La configuración Tipo A se describe como el paso simultáneo de un flujo de aire descendente (dorsal) en altura sobre la zona central, un sistema de bajas presiones en superficie desplazándose sobre la cuenca de Santiago desde el norte y la influencia de un sistema de altas presiones frío ubicado en la zona centro norte de Argentina. Esta configuración genera mala ventilación y baja remoción de contaminantes desde la superficie. Se caracteriza por una disminución de la humedad y el aumento de la temperatura, fortaleciendo el fenómeno de inversión térmica, que inhibe el movimiento de aire y por consiguiente la remoción de los contaminantes emitidos por la ciudad. Los episodios de contaminación asociados a esta configuración generan su mayor impacto en la zona poniente, situación que se ha observado en la estación Pudahuel.

La configuración Tipo BPF, indica que la estabilidad del aire sobre la cuenca de Santiago también se observa con la aparición de flujos ascendentes (vaguada en altura) que acompañan el paso de un sistema frontal débil. Este ascenso de aire genera la formación de nubosidad sobre la ciudad antes del ingreso del sistema frontal, de ahí su nombre, Baja Pre Frontal (BPF).

Los episodios de contaminación asociados a esta configuración meteorológica, a diferencia de lo observado con la configuración tipo A, generan impacto en las estaciones ubicadas en la zona sur y centro de la ciudad, en las estaciones de monitoreo de calidad del aire, Parque O'Higgins, El Bosque y Cerrillos.

III.4 Arquitectura y diseño urbano sustentables

La arquitectura sustentable es la interacción de las edificaciones con el medio ambiente, logrando que disminuyan el impacto del uso de los recursos no renovables como: la energía eléctrica, el gas y el agua, entre otros. La arquitectura bioclimática y el diseño bioclimático da como respuesta un diseño que conforta al usuario en sus diferentes sentidos, logrando una comodidad óptima y sin consumir grandes cantidades de energía. La inquietud por considerar estos elementos de

bienestar en el desarrollo de las actividades humanas es cada día más importante; desde variados ámbitos se busca que la arquitectura sea adecuada al medio que la rodea, que el bienestar de la persona que usa los espacios se encuentre confortable para sus diversas actividades.

La arquitectura actualmente opera a la par con la tecnología, en función de resolver los acondicionamientos espaciales, excluyendo las variables que influirán en el acondicionamiento térmico de los espacios. La falta de planeación en este ámbito ocasiona posteriormente costos que se añaden al valor del inmueble, como gasto en su óptimo funcionamiento energético. La utilización de diseños adecuados al entorno natural, implica que esos gastos se recuperarán durante la vida útil del inmueble y además promocionarán una disminución de consumo de energía. La energía empleada se desagrega como: gas licuado, leña, electricidad, gas natural y combustibles derivados del petróleo.

El consumo de energía por rama de actividad económica (sector residencial, comercial y público) fue para el subsector residencial del 82 % de los requerimientos totales del sector. Un estudio de prefactibilidad de valorización en inmuebles permitiría considerar el acondicionamiento térmico y ahorro de energía y con ello generar conocimiento del efecto económico durante su vida útil. Los criterios de diseño bioclimático, pueden ofrecer ventajas económicas del orden del 25 %, pero si se traslada este porcentaje al consumo de energía, representa disminución de impactos ambientales o de emisión de gases efecto invernadero, ayudando a evitar el cambio climático (Fitch y Morillón, 2001).

III.4.1 Diseño urbano y eficiencia energética.

La forma de agrupamiento de los edificios se puede clasificar en dos grandes grupos, de acuerdo al tipo de edificación, pareados y aislados y de acuerdo a su diseño, en compactos y abiertos. En los diseños, los compactos son de planta cuadrada y rectangular con mínimas variaciones en su perímetro expuesto. Los abiertos son de plantas lineales, con formas de “L” y “C” o con mayores perímetros. Los valores de consumos energéticos requeridos por metro cúbico varían entre 25,57 y 42,87 kwh/m³ entre una tipología compacta de alta densidad y una abierta de baja densidad, respectivamente, lo que representa un ahorro de consumo del 43 %. Las variaciones de la tecnología tradicional de construcción, las superficies de

ventanas y la densidad volumétrica producen importantes reducciones en las demandas de energía: entre el 21 y el 47 % (Mesa y De Rosa, 2001).

III.5 Forma urbana

Las “Leyes de Indias” dictadas por Felipe II de España en 1573 fueron el primer Código Urbano u Ordenanza que se aplicó en Chile. La mayoría de las ciudades coloniales fundadas por los españoles en América Latina se ajustaron a sus rígidas prescripciones. La traza en cuadrícula fue su principal característica morfológica y posiblemente la única cuya gravitación se ha mantenido hasta el presente. Está constituida por una matriz regular de manzanas cuadradas definida por calles, generalmente orientadas en un ángulo de 90° con respecto al norte, a una distancia entre 100 a 130 m entre ejes. A partir de un núcleo fundacional de máxima regularidad, la retícula se extendió con el tiempo, según el mismo modelo y constituye actualmente la principal característica de la ciudad. El desarrollo urbano ha dado lugar a entornos de distintas densidades, desde altas en el centro de la ciudad hasta medias y bajas en zonas residenciales.

El paisaje urbano, entendido como un conjunto de elementos visuales, producto de la urbanización y la edificación, combinados armónicamente y considerados como espectáculo estéticamente valioso, de libre contemplación por todos los ciudadanos, es el resultado de una evolución histórica, inserto en un contexto más amplio: el paisaje natural o humanizado -lo agrario, minero, industrial, residencial- del cual forma parte (Hermosilla, 2002).

En la ciudad de Santiago la altura máxima del ángulo de los rayos solares, en el solsticio de verano, es 80° y en el solsticio de invierno, 33° .

La orientación del emplazamiento de la trama urbana ortogonal, influye sobre el comportamiento energético, de acuerdo al ángulo con respecto al eje que se emplaza. En el hemisferio sur, la trama urbana de cuadrícula orientada en un ángulo de 45° con respecto al norte, tendrá veredas y fachadas con mayor tiempo de exposición solar en invierno. Se estima que un rango de hasta 10° respecto del ángulo de 45° es favorable (entre 35° y 55°). Este parámetro es importante de valorar porque significará consumo de energía eléctrica para la generación de iluminación artificial a tempranas horas de la tarde en invierno, tanto al interior de los edificios como en el alumbrado de calle y espacios exteriores.

El parámetro de la proporción entre la altura de los edificios con respecto al ancho de calles, es otro factor que influye sobre el acceso al sol, por lo tanto en el comportamiento térmico de los edificios. La proporción óptima para un mayor acceso diario al sol, es 1:1 mínimo de ancho de vía y alto del edificio.

La ciudad presenta una compleja interrelación de condiciones ambientales. Santiago se implanta en el gran espacio del valle del río Maipo, delimitado espacialmente por la Cordillera de Los Andes, y sus cerros isla que definen ejes, espacios abiertos y masas edificadas que otorgan áreas de diferente textura o granulado urbano, ver figura 1. A mediados del siglo XX, la ciudad posee características de metrópolis y concentra un alto porcentaje de la población nacional y una extensión de aproximadamente 15 mil hectáreas de superficie, con un continuo urbano desde las comunas de Conchalí hasta El Bosque y desde Las Condes hasta Pudahuel (antes Barrancas).



Figura 1. Fotografía aérea de la ciudad de Santiago.
Fuente: Google Earth, 2008.

Los macizos cordilleranos configuran rotundos cierres de la cuenca, referencia vertical de la ciudad y dejan una apertura en el sur poniente donde drena el sistema fluvial. Se suman cerros isla, hacia el poniente del valle, otros menores en el centro y el oriente de la ciudad.

El río Mapocho, tiene una gran importancia en el paisaje, debido al conjunto de espacios asociados a éste, como avenidas costaneras y parques ribereños, constituyendo un corredor espacial que proyecta un campo visual hacia el macizo cordillerano. La red de cursos naturales de agua, los ríos Maipo, Mapocho y Lampa y sus afluentes, complementada por una red de canales de regadío, recorre el valle estableciendo una estructura primaria del territorio. La condición de clima semiárido con su régimen de vientos y pluviometría, establecen la presencia relativa de vegetación.

Sobre el soporte natural mencionado se estableció el paisaje construido de Santiago. En este escenario, hace cincuenta años, se respiraba aire limpio y se lograba contemplar la geografía de la cuenca.

Grandes espacios abiertos, con pocas edificaciones, con o sin arborización, constituyen lugares de eventos de gran concurrencia de la ciudadanía. Espacios públicos accesibles, que por su ubicación, tamaño y significado contribuyen a estructurar una imagen reconocible de la ciudad, hitos, nodos y lugares de transición y encuentro como la Plaza de Armas y la Alameda B. O'Higgins, los parques del cerro Santa Lucía, Forestal, Bustamante, Balmaceda y la plaza Baquedano.

El principal eje vial articulador de la ciudad en sentido oriente poniente, lo constituye el sistema Camino a Farellones, Las Condes, Providencia, Alameda y Ruta 68. En el sentido norte sur, la Ruta 5 cruza la ciudad y conecta a la ciudad en sentido longitudinal. La intercomuna de Santiago tiene una trama urbana continua entre todas las comunas y se ha visto impactada por grandes proyectos de infraestructura, asociados a planes de descontaminación de la ciudad, formando una red vial y de transporte urbano, que otorgan gran conectividad al territorio. El sistema Independencia, Bandera, San Diego y Gran Avenida, constituye un eje a nivel intercomunal.

La figura 2 muestra la vialidad estructurante de las vías concesionadas, formada por el anillo Américo Vespucio, Costanera Norte, ruta Norte-Sur, Acceso Sur a Santiago y enlaces a autopistas hacia las regiones del país. Actualmente en construcción, Accesos Nor Oriente y Sur a Santiago, y Vespucio oriente, que completará el anillo de circunvalación. Sin embargo estos proyectos de vías concesionadas, han significado que la ciudad se divide por este trazado que forma extensos corredores vehiculares, pasos sobre y bajo nivel, que han modificado el paisaje urbano.



Figura 2. Plano esquemático de Santiago y vías concesionadas.
Fuente: <http://www.moppt.cl/documentos/otros/Transantiago%20Oportunidad%20de%20Inversion.pdf>

IV MATERIALES Y METODOS

Los pasos metodológicos fueron los siguientes:

1. Elaboración de un modelo conceptual para el flujo del aire.
2. Selección de las áreas de estudio.
3. Materiales y métodos diseñados para el análisis de la morfología y microclima urbanos y del material particulado.
4. Evaluación y análisis de resultados de las variables en las áreas seleccionadas de Santiago Centro y Las Condes.

IV.1 Modelo conceptual para el flujo del aire

Se elaboró en primer lugar el modelo conceptual que muestra el sistema sin perturbación (figura 3). El aire es el flujo que se desplaza entre los componentes del sistema, la tropósfera y la superficie terrestre, compuesta por agua, cubierta vegetal y suelo natural.

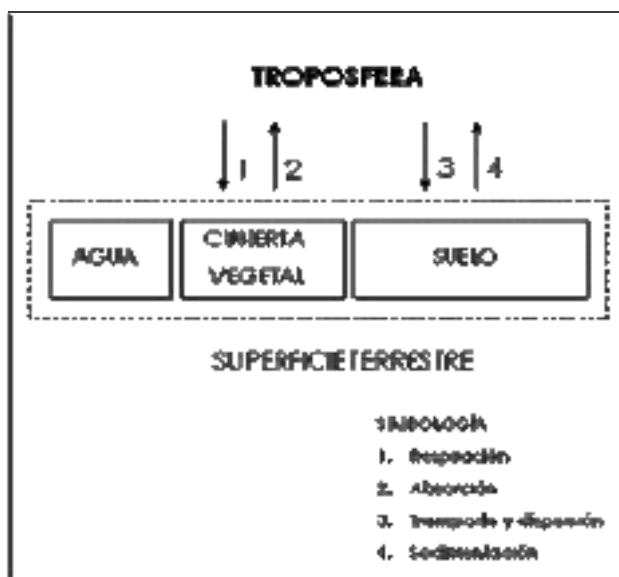


Figura 3. Modelo conceptual del flujo del aire, sin perturbación.

La cubierta vegetal moviliza el aire desde la atmósfera a través de procesos de respiración y absorción de las plantas. Entre el suelo natural y la atmósfera hay

transporte y dispersión de la masa de aire y sedimentación de material particulado de origen natural.

La tropósfera, la capa más cercana a la superficie de la tierra, está afectada por fenómenos térmicos y dinámicos relacionados con variaciones de acontecimientos meteorológicos en su superficie. La porción más afectada suele tener un espesor entre 1 y 2 km de altura y es comúnmente llamada capa límite, para distinguirla de la tropósfera libre, que no tiene influencias de la superficie.

El segundo modelo que se elaboró, fue un sistema ambiental con perturbación, el que mostró el flujo del aire y del material particulado en un área urbana (figura 4). Se consideraron como componentes: la tropósfera baja y la superficie terrestre compuesta por agua, cubierta vegetal de dos tipos: árboles y césped y suelo: natural e intervenido.

La radiación solar fue el elemento clave que permitió comprender, por su influencia sobre las condiciones atmosféricas: temperatura, humedad relativa y vientos, el comportamiento de los contaminantes en la atmósfera, alterando el flujo del aire y los procesos de respiración y absorción de la cubierta vegetal, al transportar, dispersar y producir la sedimentación de los contaminantes atmosféricos, particularmente, el material particulado antropogénico.

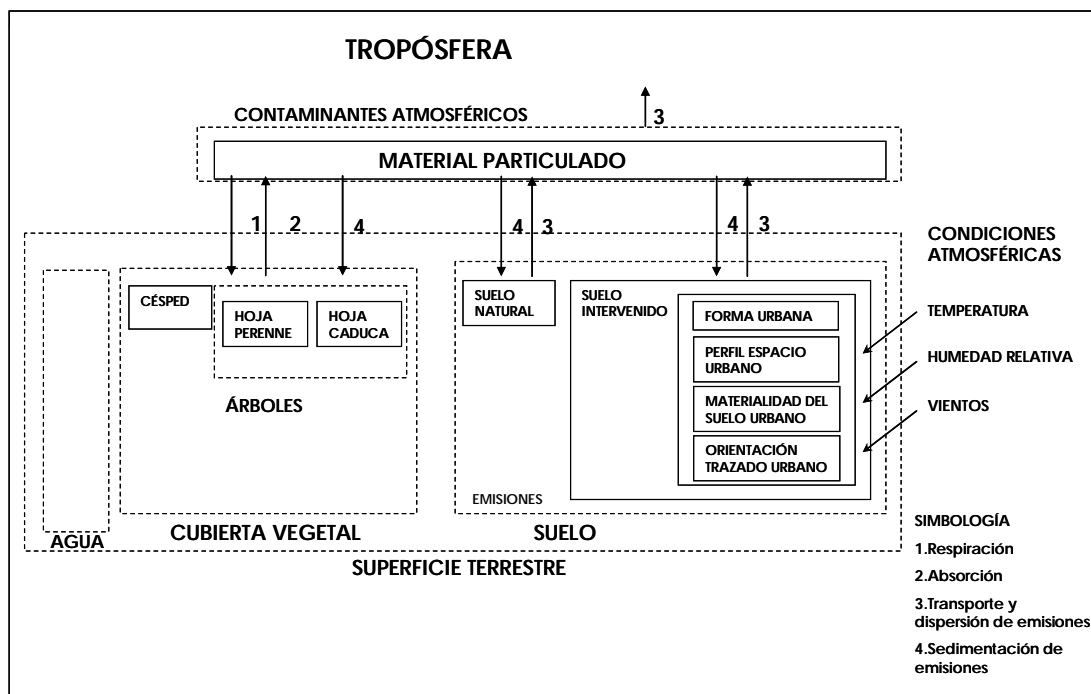


Figura 4. Modelo conceptual del flujo del aire en un área urbana y la incidencia del material particulado.

Es importante destacar el concepto de capa límite de la atmósfera; en la tropósfera la temperatura disminuye con la altura, sin embargo existen en la vertical, capas horizontales localizadas en las cuales la temperatura aumenta con la altura. Las inversiones a gran altura son frecuentes en algunas regiones, por ejemplo en la Región Metropolitana.

La variación vertical de la temperatura determina la estabilidad. Si la velocidad de abatimiento es positiva y suficientemente grande (aire frío sobre aire caliente) existe una tendencia a la formación de corrientes de convección, a medida que el aire caliente intenta elevarse. Bajo estas condiciones se considera que el aire es inestable y se mezcla.

La existencia de capas límite provocadas por eventos meteorológicos particulares, son capaces de actuar como un límite a las masas de aire que se encuentran bajo ella; así, cualquier especie química emitida por debajo será incapaz de cruzarla. Esta situación provocará una concentración de especies químicas y material particulado emitidos desde la superficie y que no pueden trasladarse verticalmente hacia las capas superiores de la atmósfera.

IV.2 Selección de las áreas de estudio

El estudio de casos se realizó seleccionando un muestreo territorial de diferentes tejidos urbanos de la ciudad de Santiago. Se consideró como criterios para la selección de los sectores: el tipo edificatorio, la trama urbana y los espacios urbanos, que se describen a continuación:

- Tipo edificatorio: vivienda unifamiliar, aislada, con tamaño predial mayor a 1.000 m² y edificios de vivienda colectiva o de servicios, en altura (torres) con tamaño predial entre 1.000 a 5.000 m².
- Trama Urbana: geometría y orientación de las manzanas, altura de edificación, tipos de cubierta de suelo, categorías viales en función del perfil y usos, tales como: avenidas (intercomunal), calles principales (comunal), calles secundarias (comunal), pasajes o calles sin salida (barrio).
- Espacios Urbanos: plazas, estacionamientos, parques, avenidas.

Sobre la base de estos criterios se seleccionó dos sectores dentro de la Región Metropolitana que presentaron diferentes tejidos urbanos correspondientes

a dos áreas consolidadas y diferenciadas en el paisaje urbano de Santiago, los que se muestran en la figura 5.

Los polígonos seleccionados consideraron un tamaño aproximado de seis por seis cuadras: Santiago centro, el barrio cívico ubicado en el casco fundacional de la ciudad y Las Condes, un sector residencial de baja densidad y superficies de subdivisión predial mayores a 1.000 m².



Figura 5. Fotografía aérea de Santiago, ubicación de los sectores de estudio.
Fuente: Google Earth, 2008.

IV.2.1 Reseña histórica

Santiago fue fundada a partir de la configuración de los cursos de aguas, La Cañada y el Río Mapocho, que se bifurcan de manera triangular alrededor del Cerro Santa Lucía. En el cuadrante central, en su vértice nororiente, se distingue el centro metropolitano el que mantiene el trazado fundacional de damero con calles

rectilíneas y manzanas cuadradas, compactas y con edificios de carácter monumental, definiendo una textura predominante en el paisaje.

En este lugar, producto de procesos de transformación y modernización de la ciudad, se combinan diversos tipos de edificaciones patrimoniales: edificios del siglo XIX, de estilo francés, de estructura metálica, inspirados en el urbanismo vienés y obras vanguardistas adscritas a los postulados de la arquitectura del movimiento moderno.

IV.2.2 Caracterización de los sectores de estudio

El sector Santiago centro seleccionado es el área comprendida entre las calles Agustinas, Tarapacá, San Martín y Bandera, es un cuadrante que contiene en su interior, el llamado Barrio Cívico, cuyos límites son la Plaza de la Constitución por el norte, el Palacio de La Moneda, la Plaza de la Ciudadanía y el Paseo Bulnes (figura 6).



Figura 6. Fotografía aérea del sector Santiago Centro.
Fuente: Unidad de Cartografía, DGOP, MOP.

El sector Santiago centro se localiza en la zona de mayor intensidad de la isla de calor de la ciudad. Entre los factores que pueden producir una variación microclimática urbana se analizó las siguientes características del tejido urbano:

1. Variaciones de dimensión de las calles, desde situaciones particulares muy anchas, como la Alameda Bernardo O'Higgins y el centro cívico Paseo Bulnes y las calles angostas del microcentro originadas en la grilla fundacional de la ciudad en épocas coloniales, cercanas al sector de estudio.
2. Sectores con vegetación (plazas) y arbolado urbano en calles y avenidas, que proporcionan sombra, protección del viento y eventuales efectos de humidificación.
3. Orientación, continuidad y altura de los edificios sobre la línea municipal o frente de manzana, y su relación con la orientación de las vías de circulación.

La zona central de la ciudad de Santiago incorpora una serie de características críticas, relacionadas con la modificación de clima a escala micro-urbana: el "centro" es el sector de mayor densidad de masa edificada de la ciudad, con un número importante de edificios altos; el área central experimenta actividad peatonal intensa durante el día y la tarde, con actividades bancarias y comerciales. El mejoramiento del confort peatonal es importante para promover este uso intensivo con fuerte perfil de "urbanidad", favorable al desarrollo, calidad y desempeño del espacio urbano. Como situación específica en la composición del tejido urbano se analizó especialmente el impacto de edificios de altura y de forma de agrupamiento pareado y la influencia microclimática que ejercen en su entorno al provocar aceleraciones de viento y proyección de sombras en las áreas circundantes.

Como un valor agregado está la presencia del monumento histórico, el edificio de la actual Sede de Gobierno. Es un sector donde predominan los usos de suelo de servicios y comercio, calles pavimentadas, escasa arborización y alturas de edificación hasta los 12 pisos. Hay presencia de vegetación en espacios libres y plazas y algunas calles arboladas. Para el caso del sector de Santiago centro, si bien su destino es predominantemente de tipo comercial y de servicios públicos, la presencia del eje cívico de edificios de altura que lo conforman, se estimó de relevancia como variable de la forma urbana a considerar.

En el espacio comprendido entre el río Mapocho, el cerro Santa Lucía, la Alameda Bernardo O'Higgins y el barrio cívico, se concentran sedes de las principales instituciones políticas, culturales, educativas, religiosas, financieras y comerciales, prolongándose a través de corredores comerciales, equipamientos y servicios alineados a lo largo de los accesos históricos de la ciudad (figuras 7 a 9).

Los espacios vacíos se caracterizan por la presencia de árboles de hoja caduca y césped, principalmente. En el sector de estudio se observa claramente la volumetría del eje cívico, formado por edificios de 10 pisos, que corresponden a 35 metros de altura aproximadamente, en sentido norte sur, que rodean la sede de gobierno, edificio de dos pisos y altura 10,5 metros aproximadamente.



Figura 7. Barrio Cívico: Palacio de La Moneda, al fondo el Paseo Bulnes.



Figura 8. Barrio Cívico: en primer plano Plaza de la Ciudadanía. (En construcción años 2004-2005)



Figura 9. Vista aérea de la Alameda B. O'Higgins, hacia el oriente. (Este "cajón urbano" forma un cauce para el flujo del aire).

El sector Las Condes es el área que se ubica entre la Av. Las Condes por el norte, Fray Bernardo por el sur, San Damián por el poniente y San Francisco de Asís por el oriente. Como evolución de los barrios residenciales de ciudad jardín, que en sus inicios eran las comunas de Providencia y Ñuñoa, extendiéndose siempre hacia el oriente, se localiza este barrio residencial de alto nivel económico, constituido por predios de 5 hectáreas de superficie y mayores, con gran presencia de vegetación, viviendas unifamiliares de uno y dos pisos, con comercio paralelo al eje Avenida Las Condes (figura 10). En su proceso de consolidación se instalaron edificios residenciales de departamentos en cuatro pisos. El espacio público característico de este sector, en avenidas y calles interiores, se conforma por la escala humana, veredas y calles arboladas.



Figura 10. Fotografía aérea sector Las Condes.
Fuente: Google Earth, 2005.

El sector Las Condes se localiza en una zona de menor intensidad de la isla de calor de la ciudad. Entre los factores que pueden producir una variación microclimática urbana se observó las siguientes características del tejido urbano:

1. Variaciones de dimensión de las calles: muy anchas y abiertas, como Av. Las Condes y calles angostas e interiores como Fray Bernardo y San Damián.
2. Sectores con arbolado urbano en calles y avenidas, nativo o introducido generalmente, que proporcionan sombra, protección del viento y eventuales efectos de humidificación.
3. Ubicado cerca del río Mapocho, con una superficie de agua expuesta al viento. El sector de estudio se encuentra a sólo 1km del río, con un limitado desarrollo urbano, en baja altura y terrenos eriazos.

En Av. Las Condes, se observó el uso intensivo del espacio público, con flujo de transporte público y privado, actividades bancarias y comerciales en la Av. Las Condes con calles San Damián y San Francisco de Asís (figuras 11 a 13). Se caracteriza por baja densidad edilicia, calles anchas, edificios bajos y reducidas emisiones de calor debido a transporte público y privado, con escaso tránsito en las calles durante el atardecer y la noche. En la composición del tejido urbano se analizó el impacto de edificios de baja altura y perímetro libre, y la influencia microclimática que ejercen en su entorno al provocar aceleraciones de viento y acceso al sol e iluminación natural.



Figura 11. Sector Las Condes, calle San Damián / Av. Las Condes.



Figura 12. Sector Las Condes, calle San Damián, hacia el interior.



Figura 13. Sector Las Condes, centro comercial, calle San Fco. de Asís / Av. Las Condes.

IV.3 Morfología urbana

IV.3.1 Materiales y métodos diseñados

Se tomó como casos de estudio a los tejidos urbanos en cuadrícula de la ciudad de Santiago. Se analizó la particular relación entre las dos situaciones urbanas, espacios donde las edificaciones le dan forma y suceden diversos acontecimientos que otorgan un rol singular que los hace distintivos, cargados de valor y con significado propio.

Para ambos sectores se realizó en primer lugar una descripción de las áreas. Posteriormente, se realizó la caracterización de las tipologías urbanas en cuanto a su morfología: orientación y proporción de las manzanas, relación espacio abierto y construido, vegetación y perfiles de calle.

La información de base se realizó con apoyo de imágenes aerofotogramétricas y planimetría bidimensional en formato digital, georeferenciadas y complementada con planos de catastro impresos y digitales proporcionados por ambos municipios, que contienen la información de límite predial, silueta y altura de edificación y vegetación. La información del tipo de suelo, perfil de calles y tipo de vías, se constató en observaciones de terreno.

Se incorporó toda la información recopilada en un plano base digital para cada área, mediante el programa computacional Autocad, v. 2004. El cálculo de las superficies y el ángulo de orientación de la cuadrícula, se realizó sobre los planos de base de ambos sectores, con las herramientas disponibles en este programa. El plano bidimensional se trasladó al programa SketchUp v.5, que permite el modelamiento en tres dimensiones (3D).

Para el análisis del asoleamiento, se utilizó el programa SketchUp v.5, que mediante gráfica la capacidad lumínica y la sombra que arrojan los volúmenes. Mediante el ingreso de datos de ciudad, fecha y hora el programa realiza la gráfica sobre el modelo 3D. Esta imagen permite visualizar las áreas sombreadas arrojadas por los componentes del tejido urbano, tales como edificios, superficies construídas y despejadas, arborización. Una limitación del programa es que los rangos no están asociados a un dato numérico. Para el análisis se calcularon las superficies de suelo sombreadas, con el programa Autocad, v.2004.

Mediante un estudio comparativo de las distintas zonas urbanas de estudio, se evaluó la incidencia de las características geométricas y morfológicas del tejido urbano.

IV.4 Microclima urbano

IV.4.1 Materiales y método diseñado

Se recopilaron datos de las variables microclimáticas: temperatura, humedad relativa y vientos, en los meses de abril-mayo, junio, septiembre y diciembre de 2004; abril-mayo y junio de 2005. Los registros se efectuaron en días de semana, con todos los servicios y procesos industriales de la ciudad funcionando, además del transporte. Para todos los datos se ha considerado la hora civil, en la República de Chile continental, es decir -4 GMT y horario de invierno, que corresponde a las -5 GMT.

IV.4.2 Mediciones y Registros

Las figuras 14 y 15, muestran los puntos de observación de cada sector. El criterio a utilizar es que estuviesen representadas todas las situaciones distintas observadas en terreno de manera preliminar, por ejemplo: calles o avenidas en distinta dirección, orientación de los edificios, espacios abiertos, suelos con cubierta vegetal, etc.

Los registros se realizaron en horario de mañana y de tarde, iniciándose los recorridos a las 9:00 h y en la tarde a las 16:30 h. Los datos de temperatura y humedad relativa, se tomaron con termómetro (bulbo seco) e higrómetro (bulbo húmedo), marca "Hygromat". Los datos de vientos se tomaron con anemómetro análogo y digital. Los datos recogidos se registraron en planillas (cuadro 1, Anexo 2) y posteriormente se realizó su procesamiento estadístico, para el cálculo de promedios para cada estación del año y para cada horario.

IV.4.3 Método diseñado para el análisis de microclima urbano

Los resultados se muestran en gráficos de isolíneas, realizados mediante herramientas del programa computacional Surfer v.8. Se realizó la superposición de esta gráfica sobre la base del modelo computacional bidimensional, realizado con el programa computacional SketchUp v.5, mediante el programa Photoshop.

En la elaboración de las gráficas de temperaturas, se estableció un rango de color desde azul-amarillo-verde al rojo, siendo el color rojo el que representa la temperatura más alta registrada y el color azul la más baja. La humedad relativa se muestra en rango de color de azul (más alta) a verde (más baja).

Para el análisis del viento se ingresó la información de magnitud y dirección en Autocad v.2004 mediante herramientas gráficas del programa Autocad v.2004, sobre un plano de base bidimensional, elaborado con el programa SketchUp v.5. Para el análisis de los flujos de vientos en la vertical se elaboraron cortes transversales a partir del plano base tridimensional y se incorporó la información de flujos, mediante herramientas gráficas del programa Autocad v.2004. Esta manera de visualizar las variables, permitió efectuar el cruce de información de distinta índole, como valores de temperaturas, humedad relativa y vientos.

Para Santiago centro se estableció un total de 14 puntos de observación de datos, a nivel de calle (en la acera, a 1,5 m) y 6 puntos de observación en altura, sobre la misma línea vertical, en edificios de 10 pisos (a 35 m aproximadamente). En Las Condes, las mediciones de microclima se efectuaron mediante registros en 10 puntos de observación, a nivel de calle, en la acera. Los puntos de observación se muestran en las figuras 14 y 15, respectivamente para ambos sectores.

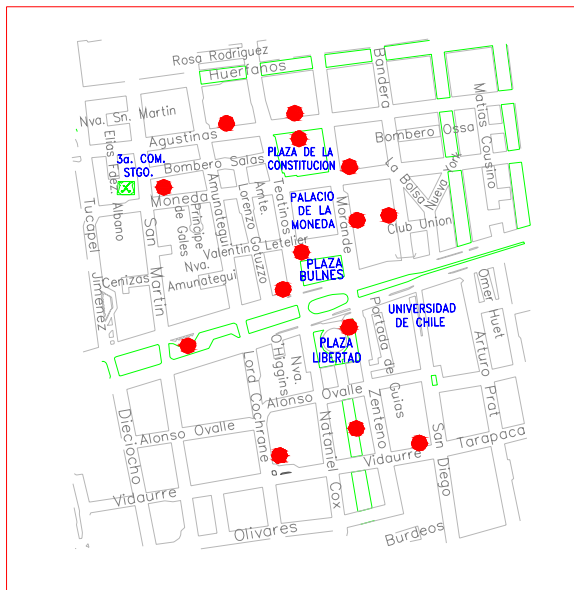


Figura 14. Ubicación de puntos de observación microclima, sector Santiago Centro.

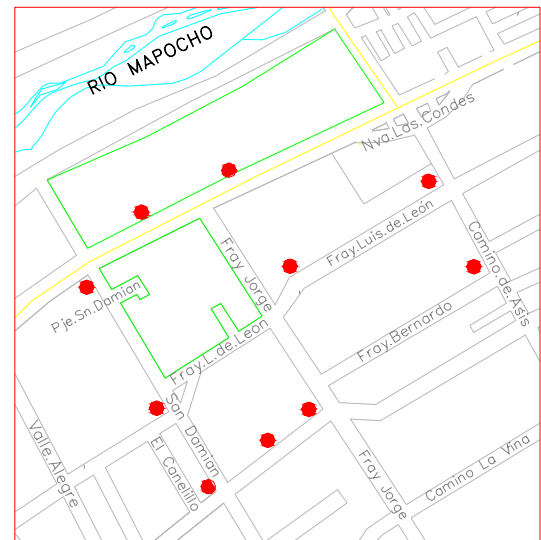


Figura 15. Ubicación de puntos de observación de microclima, sector Las Condes.

IV.5 Material particulado

IV.5.1 Materiales y método diseñado

El sistema ambiental en estudio toma como unidades representativas las áreas urbanas emplazadas dentro del área de influencia de las estaciones de monitoreo de la red MACAM-2 (círculos de color amarillo, figuras 16 y 17). Santiago Centro, correspondiente a la estación Parque O'Higgins, figura 16 y sector Las Condes, estación Las Condes, al interior del Estadio CORFO (figura 17).

Se utilizó la información horaria entregada por la Autoridad Sanitaria (SEREMI, 2008a). Esta asignación se basó en los criterios que fija el SEREMI de salud, que clasifica a las estaciones de monitoreo de material particulado respirable MP10 con representatividad poblacional (EMRP) en un círculo de 2 km de radio contados desde la ubicación de la estación (CONAMA, 2005a). Se trabajó con el perfil diario de las concentraciones de MP10 en los días muestreados para las variables microclimáticas estudiadas, en los dos sectores analizados. A la vez, se consideró las concentraciones de MP10 de 24 h para los propósitos de comparación con la norma, así como el criterio de determinación de los episodios de contaminación, usando los conceptos de ICAP. El cuadro 3 del anexo 1 señala

los días de episodios establecidos por la autoridad para el período 1997 (año de inicio de establecimiento de la medida) y el año 2007.

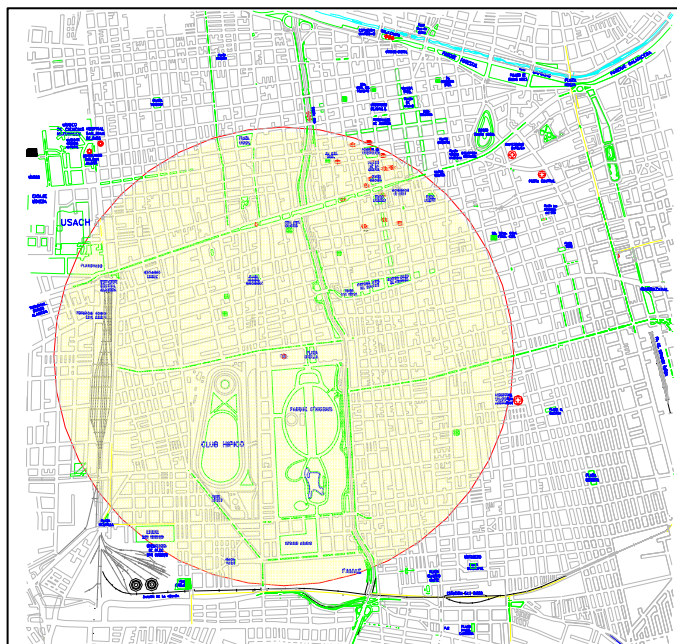


Figura 16. Ubicación de puntos de observación de microclima, sector Santiago centro. Área de representatividad poblacional (EMRP) y estación de monitoreo Parque O'Higgins.

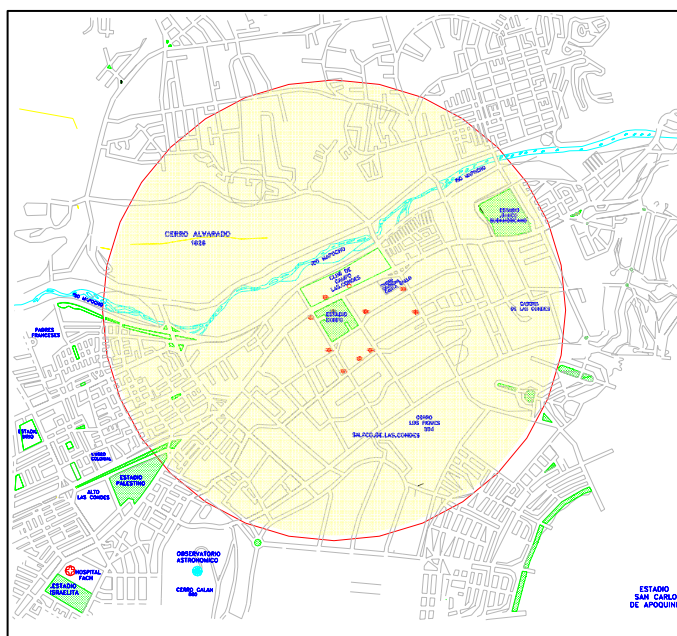


Figura 17. Ubicación de puntos de observación de microclima, sector Las Condes. Área de representatividad poblacional (EMRP) y estación de monitoreo Las Condes.

V. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

V.1 Material particulado MP10

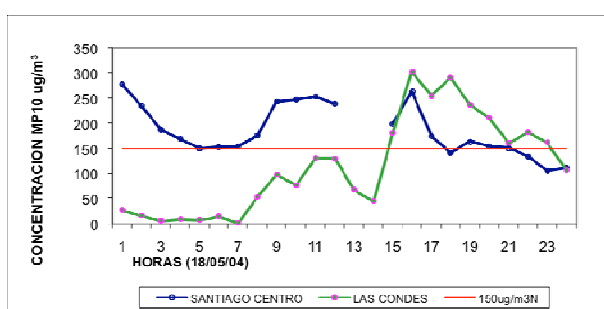
Las figuras 18 a 44 muestran el perfil diario de las concentraciones horarias en los días en que se realizaron los registros de terreno junto con la condición atmosférica. Para efectos del análisis del MP10, se usó como referencia el valor $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ promedio de 24 h, que corresponde al índice de calidad del aire por partículas, ICAP 100, límite para buen aire, valor después del cual el modelo de pronóstico de episodio crítico, obliga a la autoridad sanitaria a decretar alerta, pre-emergencia o emergencia ambiental.

Las figuras 18 a 20 muestran para los sectores Santiago Centro (SC) y Las Condes (LC), el perfil diario de las concentraciones horarias de MP10 durante tres días de mayo del año 2004, pleno otoño y que ejemplifican el comportamiento del MP10 en esta estación del año. En 3 de los días en que se realizó el muestreo, la autoridad sanitaria metropolitana decretó estados de alerta (figuras 18 y 20) y preemergencia ambiental (figura 19). La estación centinela entregó valores de $227 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 de 24 h el día 18 de mayo (ICAP 200), $164 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 de 24 h el día 19 de mayo, lo que significó que no se constató la preemergencia ambiental, sino sólo alerta y $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 de 24 h el día 20 de mayo, con lo cual no se constató la alerta ambiental decretada el día anterior (ver cuadro 2).

Las figuras 18 y 19 muestran, para Santiago centro y para Las Condes, una disminución de la concentración de MP10 en tempranas horas de la madrugada y un fuerte aumento a partir de las 07:00 h, situaciones que podrían corresponder probablemente al residuo que resta del día anterior y al inicio de la actividad en la ciudad incluido el aumento del tráfico vehicular.

El 18 de mayo, día de alerta ambiental, se constataron 18 valores horarios de MP10 sobre $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, con un máximo de $278 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a la 1:00 h de la madrugada en Santiago Centro (cuadro 3) y un valor de 24 h de $186 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuadro 2). En Las Condes se registraron 9 valores sobre $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ a partir de las 15 h con un máximo de $303 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuadro 3), pero el valor de 24 h fue de $116 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuadro 2). Es posible que la disminución de la concentración de MP10 en horas de la tarde sea el producto de la variación observada de las condiciones climáticas. El 19 de mayo, día decretado de pre-emergencia ambiental se registraron en Santiago

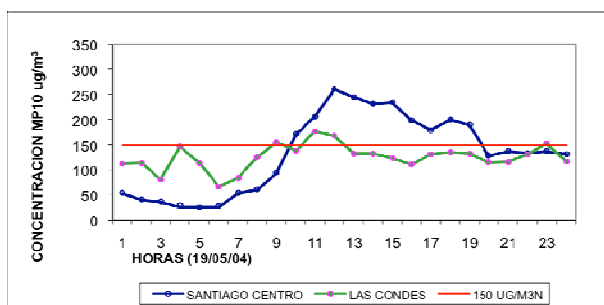
centro 4 valores horarios de MP10 sobre $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, con un máximo de $177 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuadro 3), a las 11:00 h de la mañana y valor de 24 h de $126 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuadro 2); en cambio, en Las Condes se registraron 10 valores sobre $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ a partir de las 10 h con un máximo de $261 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 12 h (cuadro 3), pero con un valor de 24 h de $134 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuadro 2). Finalmente, el 20 de mayo, día con ICAP100, mostró, en ambas estaciones, a partir de las 5:00 de la madrugada, valores muy bajos, los cuales podrían explicarse, al menos en parte, por la lluvia caída durante el día, con valores de 24 h de 40 y $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuadro 2) para Santiago centro y Las Condes, respectivamente.



Alerta ambiental

Condición atmosférica:
 SC: nublado en la mañana
 SC: parcial, en la tarde
 LC: s/información

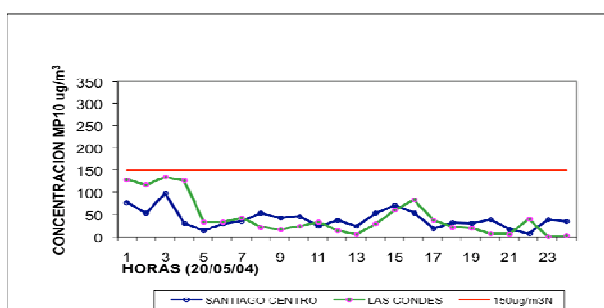
Figura 18. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 18 de mayo de 2004.



Preemergencia Ambiental

Condición atmosférica:
 SC: nublado en la mañana
 LC: s/información

Figura 19. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 19 de mayo de 2004



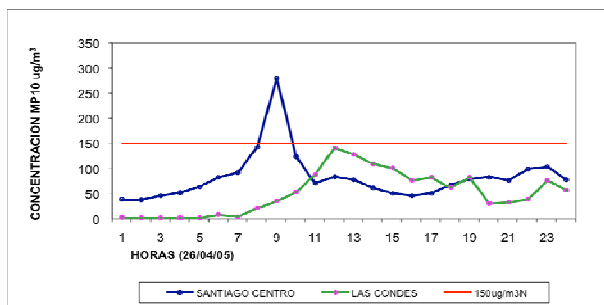
Alerta ambiental

Condición meteorológica:
 SC: nublado en la mañana
 SC: lluvia en la tarde
 LC: sin información

Figura 20. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 20 de mayo de 2004

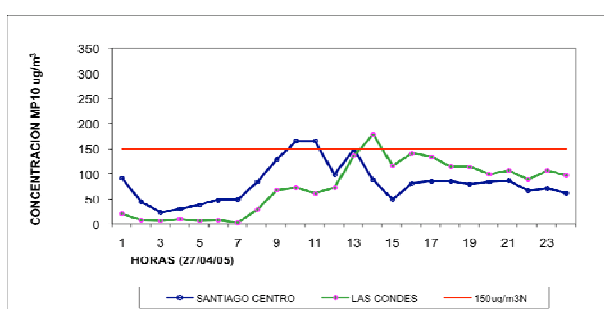
Las figuras 21 a 23 muestran el perfil diario de las concentraciones horarias de MP10 en Santiago centro y Las Condes para tres días consecutivos, desde el 26 a 28 de abril del año 2005, en ninguno de los cuales se superó la norma para 24 h (cuadro 2). Sin embargo, a lo largo de estos días para Santiago centro se observaron 4 valores horarios de MP10 sobre $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, con un máximo de $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuadro 3), a las 9:00 h del día 26 y para Las Condes un valor de $178 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuadro 3), a las 14:00 h del día 27 de abril.



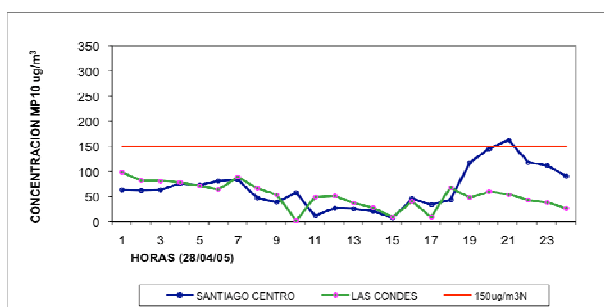
Condición atmosférica:
 SC: despejado todo el día
 LC: despejado en la mañana
 LC: parcial a nublado en la tarde

Figura 21. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 26 de abril de 2005



Condición atmosférica:
 SC: nublado todo el día
 LC: despejado en la mañana
 LC: nublado en la tarde

Figura 22. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 27 de abril de 2005.



Condición atmosférica:
 SC: nublado
 SC, chubascos a despejado
 LC: despejado

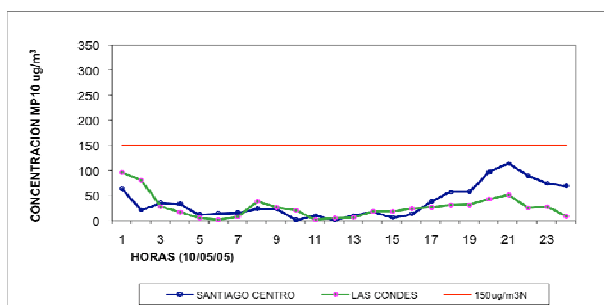
Figura 23. Perfil diario de concentración horaria de MP10, 28 de abril de 2005

Los días 26 y 27 de abril de 2005 muestran un comportamiento similar, con un aumento de la concentración de MP10 a partir de las 7 h de la mañana, en Santiago centro y en Las Condes, que podría explicarse por el inicio de la actividad de la ciudad. El día 28 de abril, mostró un descenso de la concentración de MP10 en ambas estaciones, que podría deberse a las condiciones atmosféricas, con un incremento en Santiago centro a partir de las 19h, que podría deberse al aumento del tráfico vehicular (hora punta).

Las figuras 24 a 26 muestran el perfil diario de las concentraciones horarias de MP10 en Santiago centro y Las Condes para los días 10 al 12 de mayo de 2005. Las concentraciones de MP10 24 h en estos días no superaron los $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. Sin embargo, el perfil diario horario para el día 11 de mayo se observan varios valores

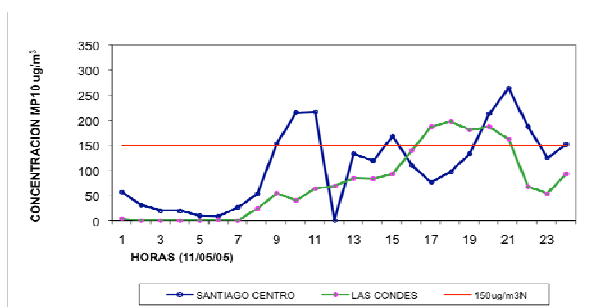
horarios sobre los $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$: en Santiago centro en 8 ocasiones a diferentes horas, con un máximo de $264 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuadro 3) a las 21:00 h; en Las Condes en 5, entre las 17:00 y las 21:00 h, con un valor máximo de $198 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuadro 3), a las 18:00 h. El día 12 de mayo, sólo en Santiago centro se superó 7 veces el valor de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ entre la 1:00 y las 11:00 de la mañana.

Tanto en Santiago como en Las Condes las concentraciones horarias de MP10 aumentan entre las 07:00 y las 09:00 h, lo cual podría corresponder al aumento del tráfico vehicular. Los días 11 y 12 se observa un rápido aumento de la concentración de MP10 en Santiago centro desde las 8:00 h que se podría explicar por el porcentaje de calmas y la baja temperatura a nivel de suelo.



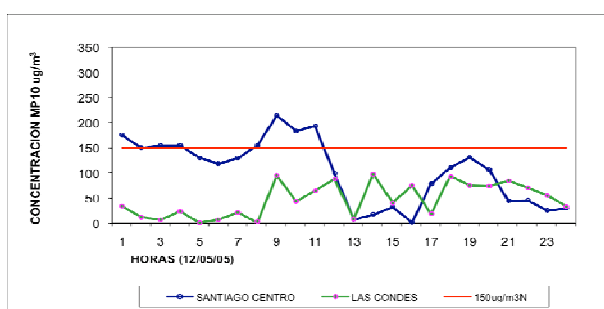
Condición atmosférica:
 SC: nublado en la mañana
 SC: parcial en la tarde
 LC: nublado en la mañana
 LC: nublado a parcial en la tarde

Figura 24. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 10 de mayo de 2005



Condición atmosférica:
 SC: nublado todo el día
 LC: nublado todo el día

Figura 25. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 11 de mayo de 2005



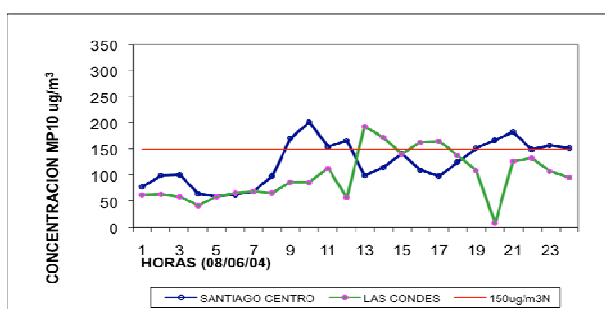
Condición atmosférica:
 SC: parcial en la mañana
 PM, despejado
 SC: despejado en la tarde
 LC: nublado a parcial en la mañana
 LC: despejado en la tarde

concentración horaria de MP10; 12 de mayo de 2005

Figura 26. Perfil diario de

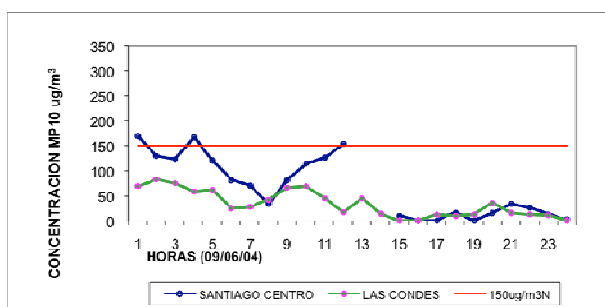
Las figuras 27 a 29, muestran para los días 8 a 10 de junio de 2004 el perfil diario de las concentraciones horarias de MP10 en Santiago centro y Las Condes.

En ninguna de estas estaciones se superó la norma de 24 h (cuadro 2), aunque el día 8 de junio en la Red Macam se obtuvo un valor máximo de 24 h, de $164 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (cuadro 2). Sin embargo, ese día 8 de junio, en Santiago centro se superó 10 veces el valor $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, con un máximo de $193 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (cuadro 3) a las 13:00 h y 4 veces en Las Condes, con un máximo de $202 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (cuadro 3) a las 10:00 h.



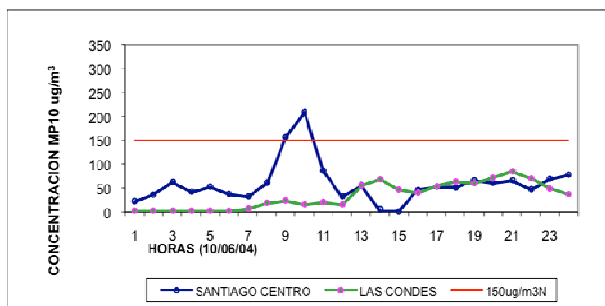
Condición atmosférica:
 SC: nublado todo el día
 LC: s/información

Figura 27. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 8 de junio de 2004



Condición atmosférica:
 SC: nublado y lluvia suave en la mañana
 SC: s/información en la tarde
 LC: s/información

Figura 28. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 9 de junio de 2004

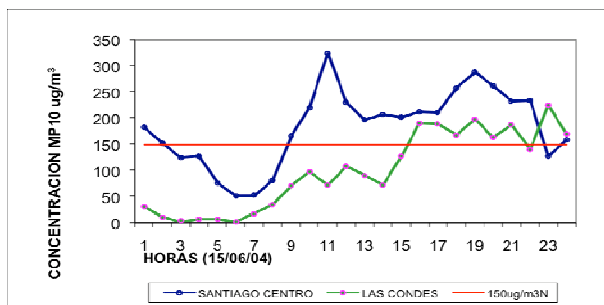


Condición atmosférica:
 SC: parcial todo el día
 LC: s/información

Figura 29. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 10 de junio de 2004

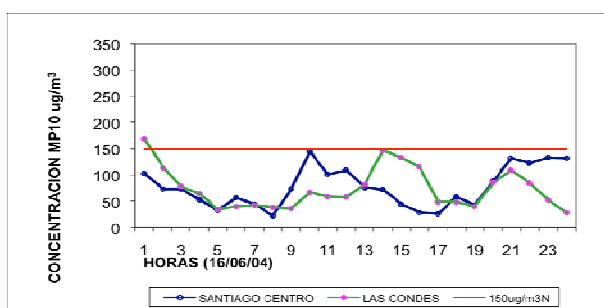
Las figuras 30 a 32, muestran el perfil diario de las concentraciones horarias de MP10 los días 15 al 17 de junio de 2004. En el sector Santiago centro, se registraron 16 valores horarios sobre los $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, con un valor máximo de $324 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ el día 15 de junio, a las 12:00 h, no obstante el valor de 24 h informado por la autoridad fue sólo de $183 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (cuadros 2 y 3). En Las Condes se registraron 8 valores horarios sobre $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ y un valor de 24 h de $99 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. La Red Macam por su parte, marcó $219 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ y por lo tanto se trataba de un día de preemergencia ambiental. El día 17 de junio en Santiago centro se observan

también algunos valores horarios sobre los $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, pero el valor 24h queda bajo la norma, al igual que en la Red Macam (cuadro 2).



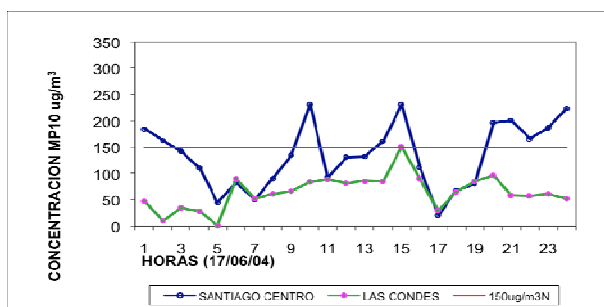
Condición atmosférica:
SC: nublado todo el día
LC: s/información

Figura 30. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 15 de junio de 2004



Condición atmosférica:
SC: parcial en la mañana
SC: nublado en la tarde
LC: s/información

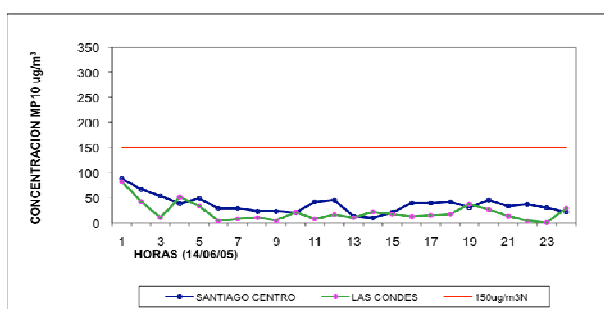
Figura 31. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 16 de junio de 2004



Condición atmosférica:
SC: nublado en la mañana
SC: parcial en la tarde
LC: s/información

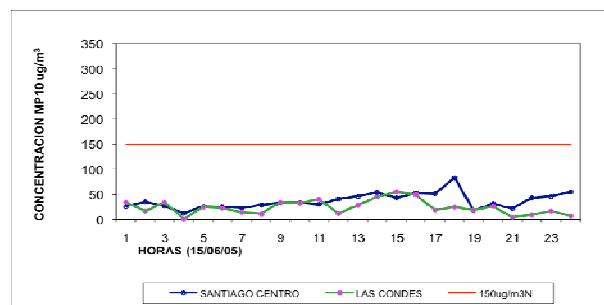
Figura 32. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 17 de junio de 2004

Las figuras 33 a 35, muestran el perfil diario de la concentración horaria de MP10 en Santiago centro y Las Condes, para los días 14 al 16 de junio del año 2005. El valor máximo registrado en Santiago centro es de $129 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ a las 10:00 h y de $109 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ a las 14:00 h en Las Condes (cuadro 3). En ninguno de estos días se superó la norma ambiental, ni en las estaciones bajo estudio, ni en la Red Macam. Este hecho podría deberse a las condiciones atmosféricas, puesto que en estos tres días se presentaron lluvias durante todo el día, parte de él o lloviznas que propician el lavado de algunos contaminantes de la atmósfera y además, la humedad del suelo impide la emisión y re-emisión de material particulado a la atmósfera.



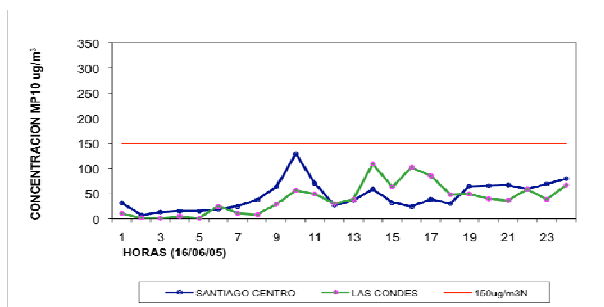
Condición atmosférica:
 SC: lluvia todo el día
 LC: lluvia todo el día

Figura 33. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 14 de junio de 2005



Condición atmosférica:
 SC: lluvia en la mañana
 SC: nublado en la tarde
 LC: nublado todo el día

Figura 34. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 15 de junio de 2005



Condición atmosférica:
 SC: nublado en la mañana
 SC: llovizna en la tarde
 LC: nublado todo el día

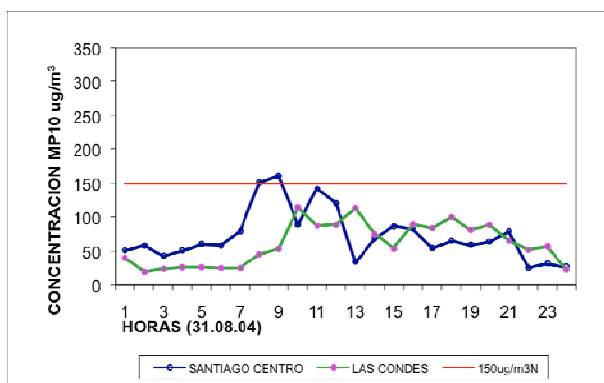
Figura 35. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 16 de junio de 2005

Las figuras 18 a 35 analizadas son representativas del perfil diario de las concentraciones horarias de MP10 en otoño (años 2004 y 2005) en los sentidos siguientes: durante este período es posible superar la norma vigente para MP10 de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para 24h, generándose episodios críticos; las concentraciones de MP10 de 24 h y en general también las concentraciones horarias, son mayores en Santiago que en Las Condes, aún cuando los perfiles de las concentraciones horarias son relativamente semejantes; la variabilidad de estas concentraciones es alta y se refleja en la existencia de máximos horarios, en ocasiones muy elevados; dicha variabilidad en general, depende de factores meteorológicos.

Las figuras 36 a 41 muestran el perfil diario de las concentraciones horarias de MP10 en Santiago centro y Las Condes, para fines del invierno del año 2004, correspondientes al último día de agosto y primero y dos de septiembre y a los días 14 al 16 de septiembre.

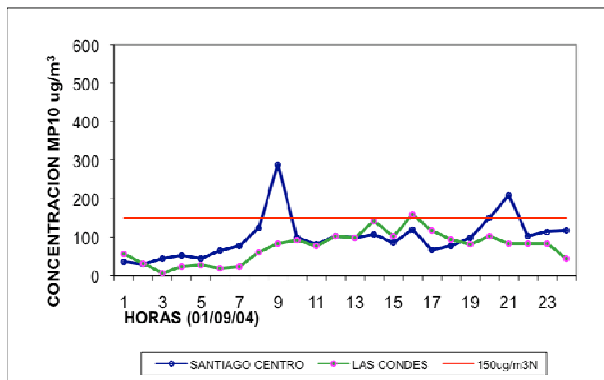
Las figuras 36 y 37 muestran el perfil diario de la concentración horaria de MP10 de los días 31 de agosto y 1º de septiembre. Se observó cierta similitud en el comportamiento horario del MP10 en las estaciones estudiadas, estando en Las Condes desplazado hacia el mediodía el aumento de las concentraciones que se observa claramente en la mañana en Santiago centro, coincidente con el inicio de la actividad de la ciudad.

El día 2 de septiembre se registró el valor más alto de concentración horaria de MP10 de los períodos estudiados, con 565 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ a las 24:00 en Santiago centro, con un rango de variación de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, en el lapso de dos horas, como se muestra en la figura 38. Es muy difícil explicar una variación de esa magnitud, a no ser que refleje una variación importante en la emisión de alguna fuente puntual.



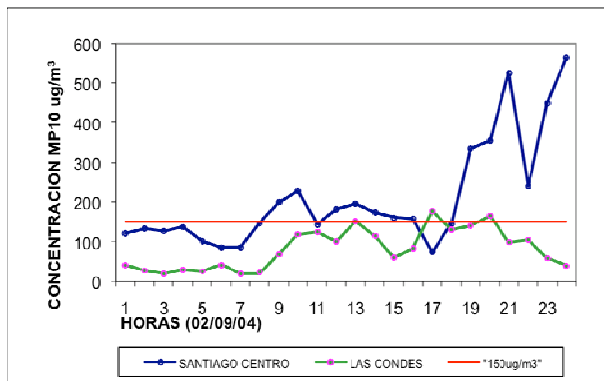
Condición atmosférica:
 SC: despejado todo el día
 LC: despejado todo el día

Figura 36. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 31 de agosto de 2004



Condición atmosférica:
 SC: despejado en la mañana
 SC: parcial en la tarde
 LC: parcial a despejado en la mañana
 LC: parcial a nublado en la tarde

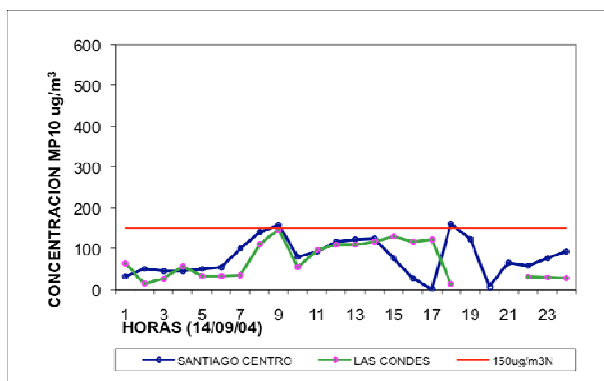
Figura 37. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 1º de septiembre de 2004



Condición atmosférica:
 SC: nublado en la mañana
 SC: parcial en la tarde
 LC: nublado en la mañana
 LC: parcial a nublado en la tarde

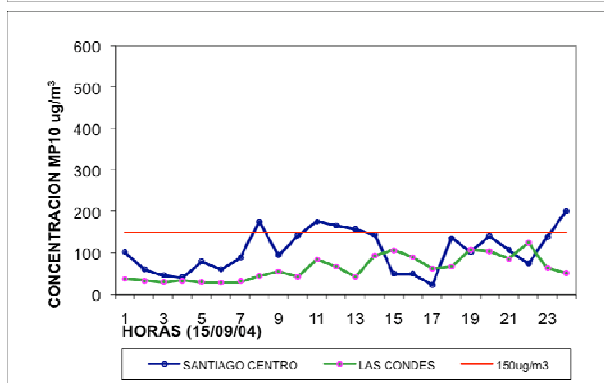
Figura 38. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 2 de septiembre 2004

Las figuras 39 a 41, muestran el perfil diario de las concentraciones horarias en Santiago centro y Las Condes de MP10, entre el 14 y el 16 de septiembre. En estos días, en general, las concentraciones de MP10 se mantienen bajo la norma, con escasas ocasiones en que la concentración horaria supera los 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, como por ejemplo, el valor máximo horario registrado en Santiago centro de 201 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ a las 24:00 h el 15 de septiembre (cuadro 3).



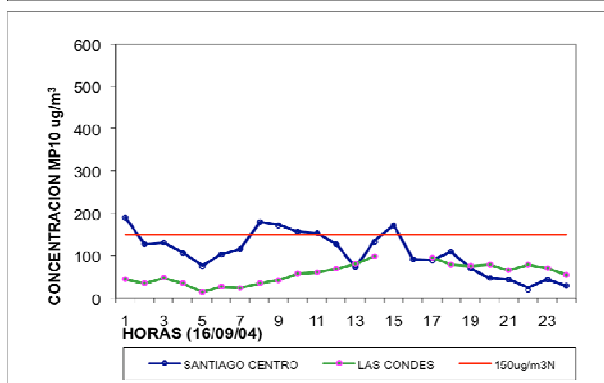
Condición atmosférica:
 SC: nublado a parcial en la mañana
 SC: despejado en la tarde
 LC: despejado todo el día

Figura 39. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 14 de septiembre 2004



Condición atmosférica:
 SC: despejado en la mañana
 SC: bruma en la tarde
 LC: despejado todo el día

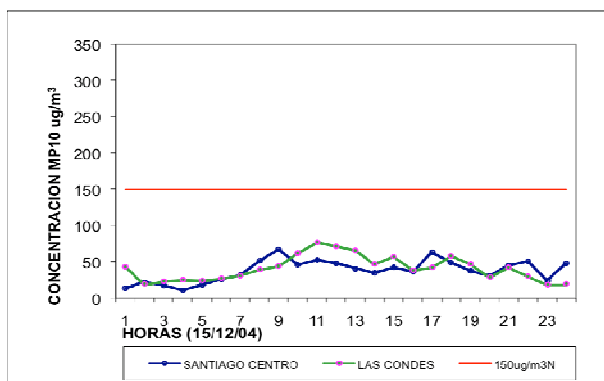
Figura 40. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 15 de septiembre 2004



Condición atmosférica:
 SC: despejado en la mañana.
 SC: sin dato en la tarde
 LC: despejado en la mañana
 LC: parcial a despejado en la tarde

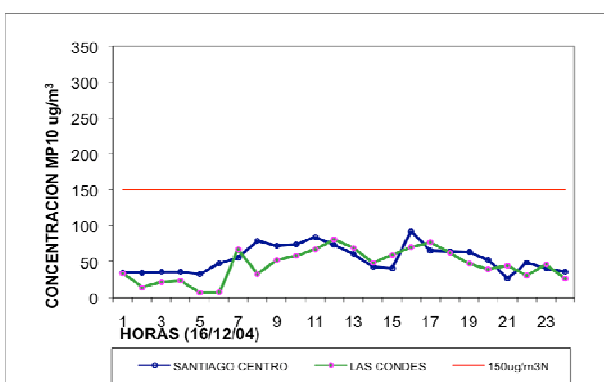
Figura 41. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 16 de septiembre 2004

Las figuras 42 a 44, muestran el perfil horario de las concentraciones horarias de MP10 en Santiago centro y Las Condes, correspondiente a los días 15 al 17 de diciembre. En este período ningún valor horario de concentración de MP10 superó los 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (cuadro 3) y ciertamente se cumplió siempre la norma.



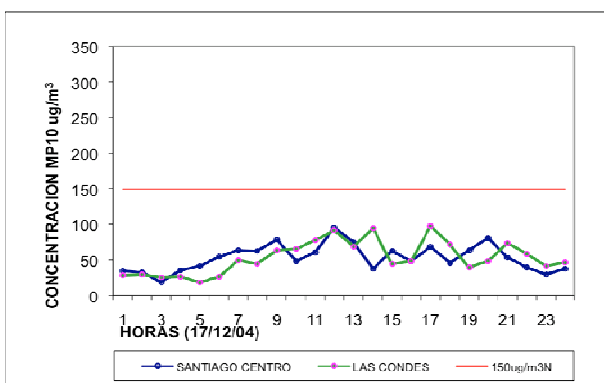
Condición atmosférica:
 SC: parcial a despejado en la mañana
 SC: despejado en la tarde
 LC: parcial todo el día

Figura 42. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 15 de diciembre 2004



Condición atmosférica:
 SC: despejado todo el día
 LC: despejado todo el día

Figura 43. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 16 de diciembre 2004



Condición atmosférica:
 SC: despejado en la mañana
 SC: despejado a parcial en la tarde
 LC: despejado en la mañana
 LC: parcial en la tarde

Figura 44. Perfil diario de concentración horaria de MP10; 17 de diciembre 2004

La información analizada para fines de invierno y primavera, muestra que en este período las concentraciones de MP10 son menores que en el período otoño-invierno, en las dos áreas de la ciudad estudiadas, siempre con peculiaridades propias de cada una de ellas. En este contexto, el máximo horario registrado en Santiago centro, de $565 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 24:00 h en septiembre fue una singularidad sin explicación posible bajo la perspectiva de las variables analizadas en el marco de este trabajo.

V.1.1 Comportamiento del material particulado MP10 en Santiago centro y Las Condes

En relación a la distribución geográfica del contaminante, los promedios anuales de MP10 son muy similares en toda la ciudad, con la sola excepción de Las Condes, estación que muestra una concentración anual más baja, cercana al cumplimiento de la norma anual. Lo mismo ocurre con los máximos diarios, en donde la estación de Las Condes aparece por debajo de las otras estaciones y cerca de la norma diaria.

El período 2004 - 2005 en que se realizó el estudio es representativo del comportamiento del MP10 en la cuenca de Santiago. En otoño e invierno, se producen las más altas concentraciones de material particulado MP10 y los episodios críticos son más frecuentes en Santiago centro que en Las Condes.

Santiago centro durante todo el período de análisis registra mayores concentraciones de MP10 que Las Condes, superando en promedio los $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los meses de mayo y junio. En Las Condes la concentración de MP10 es de alrededor de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio, manteniéndose en general, una diferencia promedio de un 20 % mayor en Santiago centro que en Las Condes.

En el período estudiado, Santiago centro superó tres veces la norma para 24 h que corresponde a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. La autoridad sanitaria metropolitana decretó alerta ambiental y una preemergencia. En el análisis comparativo, en las estaciones de otoño 2004 y de 2005, las diferencias promedio de concentración de MP10 son similares en ambas áreas de estudio.

En la distribución vertical local del material particulado influye la magnitud y orientación del flujo del aire, afectado por la conformación de cajones urbanos, en el sector Santiago centro. Es posible inferir que en Santiago centro, el espacio del eje cívico, orientado de norte a sur, formado por la Plaza de la Constitución y el Paseo Bulnes, y la Alameda, de orientación oriente poniente, son espacios abiertos cuyo volumen de aire permite una dispersión de los contaminantes, en la escala local.

Parte del desafío enfrentado en esta tesis considera analizar si el MP10, asignado a un área de radio de 2 km, se distribuye homogéneamente en los sectores considerados o hay información respecto de la morfología y el microclima urbanos que permitan sugerir una distribución no uniforme. Lo ya estudiado para las épocas de otoño-invierno-primavera permite sugerir que efectivamente pudieran,

influir los parámetros de la morfología urbana, como la orientación de la trama urbana, la proporción del perfil de calles y las superficies vegetadas, sobre el microclima y por ende sobre la distribución local de material particulado MP10.

El Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana, ha tenido un importante impacto en el mejoramiento de la calidad del aire a nivel de toda la ciudad, no obstante, no considera dentro de sus estrategias ninguna vinculada a la planificación y diseño urbanos, considerando la integración de los parámetros de la morfología y el microclima urbanos, los cuales podrían contribuir, al menos a nivel local, a disminuir las concentraciones de MP10.

Cuadro 2. Valores de concentración MP10 24 h, para los días estudiados de los años 2004 y 2005.

Valores de concentración de MP10 24 horas (ug/m ³)																					
Año 2004											Año 2005										
Mes	Santiago centro			Las Condes			Valor máximo de 24 h, Red Macam			Santiago centro			Las Condes			Valor máximo de 24 h, Red Macam					
Abril	día										26	27	28	26	27	28	26	27	28		
	valor										83	81	67	51	75	52	83	97	96		
Mayo	día	18	19	20	18	19	20	18	19	20	10	11	12	10	11	12	10	11	12		
	valor	186	126	40	116	134	44	227	164	46	37	108	103	27	75	47	96	145	105		
Junio	día	8	9	10	8	9	10	8	9	10	14	15	16	14	15	16	14	15	16		
	valor	124	68	60	99	34	33	164	84	89	37	37	45	21	24	40	46	49	61		
Junio	día	15	16	17	15	16	17	15	16	17											
	valor	183	77	135	99	75	65	219	96	146											
Agosto/ septiembre	día	31	1º	2	31	1º	2	31	1º	2											
	valor	73	100	211	60	75	82	84	110	211											
Septiembre	día	14	15	16	14	15	16	14	15	16											
	valor	79	107	108	70	64	58	103	127	110											
Diciembre	día	15	16	17	15	16	17	15	16	17											
	valor	38	53	53	41	45	54	47	58	67											

Fuente: SEREMI, 2008b

Cuadro 3. Valores máximos horarios de MP10, para los días estudiados de los años 2004 y 2005.

		Concentración horaria MP10 (ug/m3)											
		Año 2004						Año 2005					
		Santiago centro			Las Condes			Santiago centro			Las Condes		
Fecha		26-Abr	27-Abr	28-Abr	26-Abr	27-Abr	28-Abr	26-Abr	27-Abr	28-Abr	26-Abr	27-Abr	28-Abr
Valor máximo horario		280	165	162	141	178	98						
Hora		9:00	10:00	21:00	12:00	14:00	1:00						
Fecha		18-May	19-May	20-May	18-May	19-May	20-May	10-May	11-May	12-May	10-May	11-May	12-May
Valor máximo horario		278	177	98	303	261	135	114	264	214	96	198	95
Hora		1:00	11:00	3:00	16:00	12:00	3:00	21:00	21:00	12:00	1:00	18:00	12:00
Fecha		08-Jun	09-Jun	10-Jun	08-Jun	09-Jun	10-Jun	14-Jun	15-Jun	16-Jun	14-Jun	15-Jun	16-Jun
Valor máximo horario		193	169	209	202	83	193	88	83	129	82	55	109
Hora		13:00	1:00	10:00	10:00	2:00	13:00	1:00	18:00	10:00	1:00	15:00	14:00
Fecha		15-Jun	16-Jun	17-Jun	15-Jun	16-Jun	17-Jun						
Valor máximo horario		324	145	231	225	148	151						
Hora		11:00	10:00	10/15:00	23:00	14:00	15:00						
Fecha		31-Ago	01-Sep	02-Sep	31-Ago	01-Sep	02-Sep						
Valor máximo horario		161	287	565	114	158	178						
Hora		9:00	9:00	0:00	10:00	16:00	17:00						
Fecha		14-Sep	15-Sep	16-Sep	14-Sep	15-Sep	16-Sep						
Valor máximo horario		161	201	190	146	125	99						
Hora		18:00	0:00	0:00	9:00	22:00	14:00						
Fecha		15-Dic	16-Dic	17-Dic	15-Dic	16-Dic	17-Dic						
Valor máximo horario		67	92	96	77	81	98						
Hora		9:00	16:00	12:00	11:00	12:00	17:00						

Fuente: SEREMI, 2008b

V.2 Morfología urbana

En esta sección se entregan los resultados obtenidos para las características geométricas de configuración de las calles, orientación de la manzanas, proporción y altura de edificación y tipo de cubierta del suelo.

La figura 45 muestra en imagen tridimensional una visualización del área de estudio Santiago centro.



Figura 45. Imagen tridimensional, sector Santiago Centro

Santiago centro presenta un predominio del tipo edificatorio pareado y de diseño compacto. El barrio cívico formado por el Palacio de la Moneda, las plazas de La Ciudadanía y de La Constitución, y el paseo Bulnes en el eje norte sur, dividido transversalmente por la Av. Libertador B. O'Higgins, son parte del área central de la ciudad de Santiago. Se observa una zona densamente construida, de edificios altos, pareados y de manzanas compactas. A nivel peatonal se desarrolla gran actividad, en torno a las actividades cívicas, comerciales y de servicios. La forma de agrupamiento en Santiago centro es continua, pareada y en altura. Las altas densidades de edificación y las tipologías compactas y pareadas, presentan un mejor comportamiento térmico, lo que se observó en el sector Santiago centro.

La figura 46, muestra la visualización de la imagen tridimensional del sector Las Condes, conformada por: baja densidad edilicia entre las calles San Damián y San Francisco de Asís, algunos edificios residenciales altos sobre Av. Las Condes y hacia el interior, edificios bajos, aislados y de perímetro libre, grandes superficies de patios con vegetación, con porcentajes de ocupación de suelo promedio inferiores al 10 % en la mayoría de los casos.



Figura 46. Imagen tridimensional, sector Las Condes.

El sector de estudio Las Condes está ubicado cerca del río Mapocho, a 1 km aproximadamente, con terrenos eriazos entre el borde y el límite norte del área, en Av. Las Condes. Las emisiones de calor son reducidas debido a esta condición y al tránsito de transporte público y privado en la vía principal, Av. Las Condes y por el escaso tránsito en las calles interiores durante el atardecer y la noche.

En este sector residencial los patios, áreas libres y la forma de agrupamiento de los volúmenes, es un factor relevante a considerar en el diseño, con respecto al uso eficiente de la energía. Las zonas menos densamente construidas presentan edificios con mayores superficies expuestas. Las características de retención de calor, mejoran con la disminución de las superficies expuestas. Mayores superficies expuestas al exterior incrementan las pérdidas de calor. Se observó este tipo edificatorio aislado y abierto, en invierno tendrá mayor requerimiento de calefacción y en verano de ventilación.

Del análisis de las volumetrías de las manzanas, se evidencia la relación entre el parámetro de forma y el comportamiento térmico edilicio.

V.2.1 Orientación de la trama urbana

La figura 47 muestra la orientación y tamaño de la trama urbana de Santiago centro, que se estructura sobre una matriz en cuadrícula ortogonal y regular, un área de manzanas cuadradas de 100 m y calles de 20 m de ancho. Esta forma regular modifica su orientación debido al trazado original de la Alameda B. O'Higgins, antigua La Cañada, a partir del efluente del río Mapocho. La orientación del sector tiene una desviación entre 8° y 18° hacia el Este de la dirección N-S.

La figura 48 muestra la orientación y trama urbana del sector Las Condes, que tiene una desviación entre 27° y 37° hacia el Este de la directriz N-S. Se observa que la orientación de la trama urbana en Las Condes se encuentra en un rango favorable para que en invierno, las calles y veredas ortogonales, reciban iluminación natural en todas las caras.

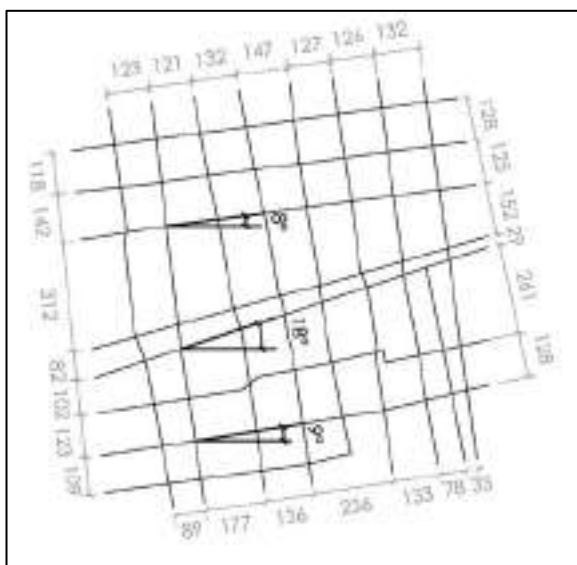


Figura 47. Esquema de orientación de la cuadrícula, sector Santiago centro.

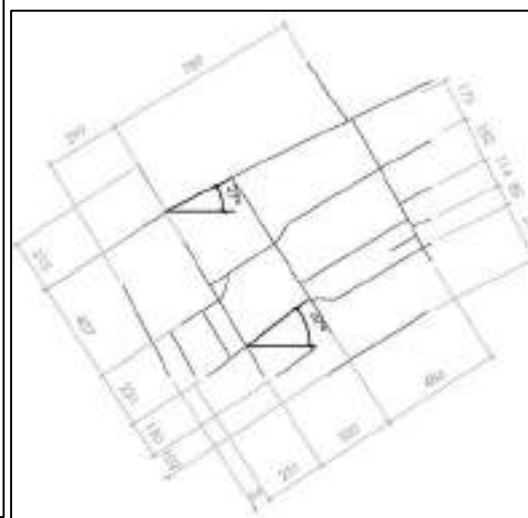


Figura 48. Esquema de orientación de la cuadrícula, sector Las Condes.

V.2.2 Proporción y altura de los edificios

Las figuras 49 y 50 muestran los cortes típicos en Santiago centro y Las Condes. En el barrio cívico y manzanas adyacentes, la proporción es 1:3, excepto en la Plaza de la Ciudadanía, con 3:1 y el paseo Bulnes, 1:1. La forma de agrupamiento de las edificaciones en el sector las Condes es aislada y de baja

altura, lo que permite el asoleamiento de la mayor parte de las fachadas y las vías. La forma de la edificación está diseñada para lograr mayor superficie de aberturas (vanos) por lo tanto mayor iluminación natural en el interior.

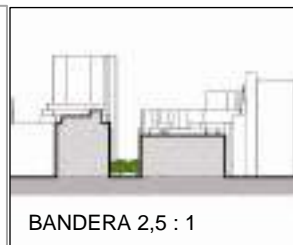
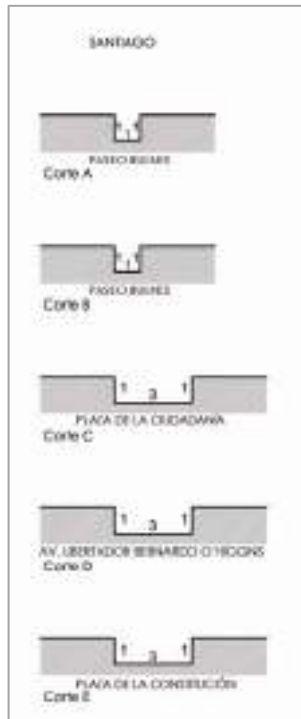


Figura 49. Proporción calles con respecto a la altura de edificios, sector Santiago centro.

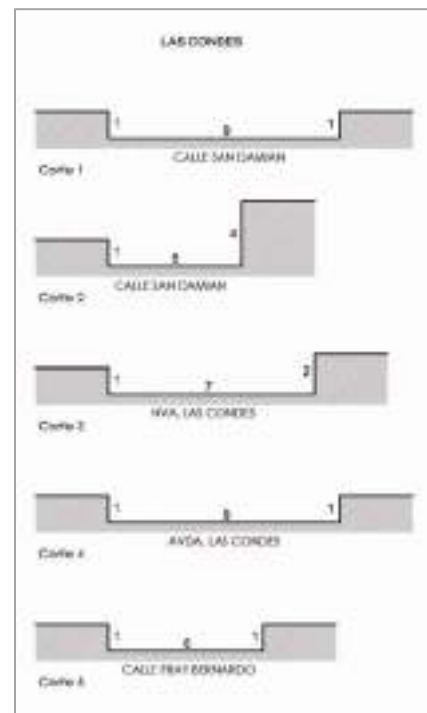


Figura 50. Proporción calles con respecto a la altura de edificios, sector Las Condes

V.2.3 Análisis del asoleamiento y el nivel lumínico.

Las figuras 51 a 62 muestran las condiciones de asoleamiento y el nivel lumínico en los equinoccios de otoño y primavera y en el solsticio de invierno, tanto en horario de la mañana como de la tarde, en Santiago centro y Las Condes, respectivamente.

Las figuras 51 y 52, muestran el asoleamiento y el nivel lumínico del sector Santiago centro, en la mañana y en la tarde, en marzo, respectivamente.

En el horario de la mañana, en el sector Santiago centro, el barrio cívico acoge actividades cívicas de forma permanente, el 40% de su superficie corresponde a sombra entre marzo y junio, en la mañana. En el horario de la tarde se observa una mayor disminución del nivel lumínico.



Figura 51. Sector Santiago Centro. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de marzo, en la mañana.



Figura 52. Sector Santiago Centro. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de marzo en la tarde.

Simbología:

Área sombreada	
Árboles	
Césped	
Nivel lumínico	
Trazado calles y edificios	



Figura 53. Sector Santiago Centro. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de junio, en la mañana.



Figura 54. Sector Santiago Centro. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de junio en la tarde.

En otoño e invierno en la tarde se debe ocupar iluminación interior a partir de las 16:30 h aproximadamente, por la falta de luz natural debido a la sombra producida por los edificios. En este período aumentará el uso de calefacción al interior de los edificios lo que significa mayor consumo de energía (figuras 53 y 54).

Las figuras 55 y 56, muestran el asoleamiento y el nivel lumínico de septiembre, en Santiago centro. En ambos horarios, mañana y tarde, se observa exposición solar de las áreas libres, en orientaciones sur-poniente/nor-orientado. Estas condiciones son favorables al uso de los espacios exteriores.



Figura 55. Sector Santiago Centro. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de septiembre, en la mañana.



Figura 56. Sector Santiago Centro, Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de septiembre en la tarde.

Las figuras 57 y 58 muestran el asoleamiento y el nivel lumínico de marzo para el sector de Las Condes. Se observó que la mayor parte de la superficie sombreada se produce en áreas de césped y que la mayor parte de las calles y veredas orientadas en sentido sur poniente/nor orientado son las que tienen mayor cantidad de horas de acceso al sol, así como las fachadas de viviendas y edificios, potenciales colectoras de energía. Esto implica que en horario de la tarde se requerirá iluminación artificial en el interior de los edificios.



Figura 57. Sector Las Condes. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de marzo, en la mañana.



Figura 58. Sector Las Condes. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de marzo, en la tarde.

Las figuras 59 y 60 muestran el asoleamiento y el nivel lumínico de invierno. En el horario de la mañana hay una mayor diferenciación en el nivel lumínico con respecto del horario de la tarde, durante el cual no se evidencia la diferencia. En el horario de la tarde, el bajo rango de luminosidad significa la utilización de luz artificial tanto al interior como al exterior de los edificios, a partir de las 16:30 h.



Figura 59. Sector Las Condes. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de junio, en la mañana.



Figura 60. Sector Las Condes. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de junio, en la tarde.

Las figuras 61 y 62, muestran el asoleamiento y el nivel lumínico de primavera del sector Las Condes. El área de sombra tiene un comportamiento muy

similar a lo que ocurre en otoño, en cuanto a la magnitud del largo de la sombra y nivel lumínico, en horario de mañana.



Figura 61. Sector Las Condes. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de septiembre, en la mañana.



Figura 62. Sector Las Condes. Asoleamiento y nivel lumínico, 21 de septiembre, en la tarde.

Las figuras 63 y 64 muestran los esquemas de áreas sombreadas en otoño, en los sectores de Santiago centro y Las Condes, respectivamente y el cuadro 5 cuantifica las superficies sombreadas en otoño, estación más desfavorable para la contaminación atmosférica de la ciudad de Santiago.

Se observó una mayor superficie sombreada en Santiago centro que básicamente corresponde a suelo pavimentado, a diferencia de las Condes que mayoritariamente corresponde a césped.

Por otra parte, la radiación solar directa afecta la temperatura radiante que es la suma de la temperatura del aire más la temperatura de las superficies. Si se aplica la relación entre las diferencias de temperatura según el tipo de suelo, se observó que esta mayor superficie sombreada, que corresponde a pavimentos de hormigón, en Santiago centro generaría una temperatura 4 °C mayor en este sector. Esto permitiría la movilización de la masa de aire y la dispersión de contaminantes, que se desplazan desde áreas de mayor temperatura a áreas de menor temperatura. No obstante, cuando se presente inversión térmica, este desplazamiento de la masa de aire se dificultará, y por consiguiente habrá una mayor concentración de material particulado.

En la figura 63 se observa además la volumetría de las masas de aire que se genera con la sombra arrojada por los edificios, indicativa de la formación de

cajones urbanos que se producen en la Alameda B. O'Higgins y en el centro cívico, conformación urbana que permitirá el flujo del aire y la dispersión del material particulado en esas áreas. Esta situación no se da en Las Condes.

Además existe diferencia de temperaturas de las distintas materialidades de los pavimentos, según su origen orgánico o inorgánico y la exposición solar durante el día. La aplicación de los resultados de Hernández, (2000) indican que una superficie de asfalto, tiene 2 °C más que una superficie de hormigón armado en la mañana; a mediodía la diferencia aumenta a 13 °C. En la tarde, a las 14:30 h, la diferencia de temperatura es de 8 °C. En el sector Las Condes, la vialidad interior de las manzanas es predominantemente de asfalto, en Av. Las Condes es de hormigón. En Santiago centro la mayor parte de las superficies pavimentadas, correspondientes a calles, áreas de plazas duras y peatonales, son de hormigón.



Figura 63. Área sombreada en otoño, Sector Santiago centro.



Figura 64. Área sombreada en otoño, Sector Las Condes.

Cuadro 4. Magnitud de áreas de sombra en los sectores Santiago centro y Las Condes.

	Magnitud de áreas sombreadas, en m ²	
	Las Condes	Santiago
Otoño en la mañana	107.932	185.009
Invierno en la mañana	115.380	207.225

V.2.4 Influencia de la orientación y el asoleamiento

Respecto del factor orientación, en la cuenca de Santiago el ángulo de orientación de la trama urbana, más cercano a los 45° con respecto al eje norte-sur, en invierno permite mayor asoleamiento en todas las caras de los edificios y en calles y veredas. De los resultados obtenidos se desprende que las manzanas de forma rectangular, cuya edificación es paralela a la trama urbana ortogonal presentan los valores más altos de áreas potencialmente colectoras de sol.

El sector Santiago centro, tiene una orientación en un ángulo entre 8° y 18° respecto al eje norte sur. En el horario de la mañana, el barrio cívico, de relevancia para el estudio local por su valor patrimonial, permanentemente presenta alrededor de 40 % de sombra sobre el lugar de actos cívicos. En el horario de la tarde se observa una disminución del nivel lumínico. La sombra arrojada sobre las fachadas y el nivel lumínico, implican para el horario de la tarde el uso de iluminación artificial tanto al exterior como al interior de los edificios. En ambos horarios se observa una baja capacidad lumínica y un sombreamiento de casi la totalidad de las áreas libres. Esto es especialmente importante ya que significa un bajo potencial de uso de los espacios exteriores y el requerimiento de iluminación artificial al interior de los edificios.

En el sector de Las Condes el ángulo de orientación del trazado urbano del sector es un ángulo entre 27° y 32° , aproximadamente. En otoño, la mayor parte de la superficie sombreada se produce en áreas de césped y la mayor parte de las calles y veredas tienen acceso al sol, así como las fachadas de viviendas y edificios. En invierno, en el horario de la mañana hay una mayor diferencia entre el nivel lumínico y el asoleamiento del horario de la tarde, donde no se evidencia la diferencia. En el horario de la tarde, el bajo nivel de luminosidad significa la utilización de luz artificial tanto al interior como al exterior. En primavera, el área de sombra es de comportamiento muy similar a la estación de otoño, en cuanto a la magnitud del largo de la sombra y nivel lumínico, en horario de mañana. En verano, en la mañana y en la tarde el nivel lumínico es el de mayor luminosidad de las cuatro estaciones.

El sector de estudio de Las Condes es más favorable en este parámetro que el de Santiago centro. Esta variable incide en la luminosidad de los espacios y en la

mayor exposición solar de la superficie del suelo en invierno. Esto conlleva a elevar la temperatura de la mañana en las superficies a nivel de suelo, lo que permite el flujo vertical de aire caliente, favoreciendo la dispersión de los contaminantes. En Las Condes se requerirá menos consumo de energía para iluminación interior en invierno, dadas las extensas superficies de fachadas con acceso solar directo.

En Santiago centro, la altura de los edificios y la proporción entre la mayor altura de los edificios y el menor ancho de las calles, influye sobre las temperaturas, lo que se evidencia en el análisis de la superficie sombreada, mayor en más de la mitad de la superficie en el sector Santiago centro. Esta menor temperatura favorece la formación de la capa de inversión térmica y aumenta la concentración de contaminantes.

V.2.5 Características del uso del suelo

Las figuras 65 y 66, muestran los tipos de cubierta para Santiago centro y Las Condes, respectivamente. El color gris representa la superficie construida, el color verde las áreas verdes, césped (verde claro) y arborización (verde oscuro). En color blanco las calles y veredas y marrón, el suelo desnudo. La magnitud de los distintos tipos de cubierta se encuentran tabuladas en el cuadro 5.



Figura 65. Tipos de cubierta, sector Santiago Centro.



Figura 66. Tipos de cubierta, Sector Las Condes.

El cuadro 5, muestra la magnitud de las superficies detalladas por tipos de cubierta para las áreas de estudio. Existe un predominio de superficie de cubierta vegetal, compuesta por césped y árboles en el sector de Las Condes, con 248.587 m², equivalente a un 57 % del total, en comparación al 8 % del total en el sector Santiago Centro, correspondiente a 14.396 m². La suma de superficies edificadas y de calles y veredas pavimentadas, en Santiago centro, es de 89 % de cubierta intervenida, contra un 26 %, en Las Condes. Nótese la gran diferencia entre ambos sectores de los suelos sin intervenir.

Cuadro 5. Superficies de tipos de cubierta en Santiago centro y Las Condes, en m².

Tipo de cubierta	Santiago Centro	Las Condes
Superficie Edificada	159.014	60.810
Masa vegetal, césped	21.827	117.259
Masa vegetal, árboles	14.396	131.328
Suelo sin intervenir	7.267	75.619
Calles pavimentadas	80.277	22.392
Veredas	155.288	29.749
Total	438.070	437.157

Las superficies interiores de las manzanas juegan un papel importante en el sector Las Condes, favoreciendo el acceso al sol y a las brisas de verano. Desde el punto de vista de la conservación de energía, esto significa mayores pérdidas a través de las superficies expuestas.

El menor porcentaje de espacios al interior de las manzanas en el sector Santiago centro, implica una volumetría edilicia más compacta, mejorando la conservación de energía. Desde el punto de vista del volumen tipológico, Santiago centro presenta gran heterogeneidad edilicia y mayor cantidad de edificios compactos con un alto porcentaje de usos de servicios públicos y actividades de comercio y servicios.

La volumetría urbana de los sectores analizados se ha construido según la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, OGCU, y de la aplicación sucesiva de Planes Reguladores, sin considerar aspectos de contaminación atmosférica o de eficiencia energética en el control de la morfología urbana.

V.2.6 Influencia de la vegetación

La vegetación afecta la calidad del aire porque es capaz de retener material particulado y evitar su emisión o re-emisión a la atmósfera. Las superficies inorgánicas, como pavimentos, también son capaces de retener material particulado. No obstante, un metro cuadrado de pavimento es capaz de retener una unidad de material particulado, un metro cuadrado de césped puede retener 6 veces más y un árbol 60 veces más (Neila, 2004)¹.

Los valores calculados para el MP10 retenido que se muestran en el cuadro 6, se determinaron estimando la cantidad de árboles por metro cuadrado, considerando que la copa mide en promedio 5 m² de superficie. Se usó como referencia un árbol de tamaño mediano, la especie liquidambar, en su tamaño máximo de crecimiento.

Los resultados muestran que Las Condes tiene 9 veces más superficie arbórea que Santiago centro. Además, las especies que se encuentran en el sector Las Condes son mayoritariamente especies nativas, de hoja perenne; en comparación con Santiago centro, donde la arborización, arbolado de calle, es por especies no autóctonas, de hoja caduca.

Cuadro 6. Distribución de tipos de cubierta en sectores Santiago centro y Las Condes.

Tipo de superficie	Santiago Centro	Las Condes
	m2	m2
pavimentos	235.565	52.141
césped	21.827	117.259
árboles	14.396	131.328

El cuadro 7 muestra que en Las Condes, los árboles retienen un 91 % de unidades respecto al total retenido en el sector, el césped un 8 % y el pavimento apenas un 1 %. En Santiago centro en cambio, si bien más del 80 % del material

¹ El autor agrega que la vegetación absorbe CO₂ al realizar la fotosíntesis al tiempo que produce oxígeno. La absorción de CO₂ varía entre 0,5 kg/m² al año para el césped y 1,0 kg/m² al año para los árboles. De acuerdo con estos valores, el césped en Las Condes absorbe 5,3 veces más CO₂ que Santiago centro. Esta acción de la vegetación dice relación con su participación en el cambio climático.

particulado es retenido por la vegetación, hay cerca de un 20 % del MP10 retenido por el pavimento, el cual estará permanentemente afectado por el paso de los vehículos motorizados, transformándose así rápidamente en una fuente de re-emisión de material particulado, de tamaño cada vez menor e incorporando adicionalmente otros contaminantes.

Cuadro 7. Retención de material particulado según tipo de cubierta, en sectores Santiago centro y Las Condes.

Retención de material particulado						
Tipo de suelo	Santiago Centro			Las Condes		
	superficie m ²	unidades retenidas	% retenido	superficie m ²	unidades retenidas	% retenido
pavimentos	235.565	235.565	19	52.141	52.141	1
césped	21.827	130.962	11	117.259	703.554	8
árboles	14.396	863.760	70	131.328	7.879.680	91

V.2.7 Discusión de resultados. Influencia de la trama urbana

La orientación del trazado urbano, la proporción de la altura de edificios versus el ancho de calles, el tipo de suelo: desnudo, pavimentado y vegetal, son parámetros de la morfología urbana que inciden en la concentración del material particulado. Para la conservación de energía, los parámetros de mayor importancia son la orientación, la proporción, el acceso al sol y la ventilación, que relacionan las superficies expuestas al volumen total construido.

La estructura predial, las ordenanzas y normativas vigentes, y la cuadrícula imponen límites específicos a la volumetría edilicia que son determinantes de su comportamiento ambiental y su consecuente demanda de energía. En regiones de clima templado con intensa radiación solar en verano, tal como Santiago, es posible obtener importantes economías de energía mediante el control adecuado de la morfología urbana, reduciendo los perímetros de pérdidas y maximizando la incidencia de la radiación solar directa sobre paramentos de fachadas y cubiertas potencialmente colectoras.

Al analizar comparativamente los resultados obtenidos de las dos tipologías urbanas estudiadas, se observó que las diferencias de acceso al recurso solar son significativas. Así, en Las Condes, por la forma de agrupamiento y el tipo edificatorio, predominantemente aislada y abierto, en invierno habrá mayor

requerimiento de calefacción, dado que hay más superficies envolventes expuestas; en verano habrá más consumo por refrigeración, dado que la mayor parte de las superficies de las fachadas tienen acceso al sol directo. En Santiago centro, su forma de agrupamiento pareada y compacta, significará menor requerimiento en calefacción en invierno y mayor consumo de energía de refrigeración en verano, porque hay menor superficie envolvente expuesta. Sin embargo en Santiago centro, el escaso acceso al sol en fachadas, en invierno significará un mayor requerimiento en iluminación interior.

V.3 Microclima urbano

V.3.1 Temperaturas sector Santiago centro

Las figuras 67 a 90 muestran las isolíneas de temperaturas en horarios de mañana y tarde para el período de estudio 2004-2005 en los sectores Santiago centro (figuras 67 a 82) y Las Condes (figuras 83 a 90).

Las figuras 67 y 68, muestran las isolíneas de temperaturas de Santiago centro, en mayo de 2005, en primer piso (a 1,5 m) y décimo piso (35 m aproximadamente), en la mañana.

En horario de la mañana, en primer piso se observa un punto de temperaturas más altas que corresponde al área más despejada de construcciones, en calle Teatinos frente a la Plaza de La Ciudadanía, cuyas fachadas están orientadas hacia el oriente, reciben asoleamiento en toda su altura debido a la proporción de altura de los edificios, sin obstáculos que produzcan sombra favoreciendo un mayor acceso al sol. La condición climática en los días de observación, mostró un tercio de los días despejados y el resto nublados.

En décimos pisos, se observa un área de mayor temperatura en las áreas libres correspondientes a las Plazas de La Constitución y de La Ciudadanía, que se puede explicar por el mayor asoleamiento del área. En este punto habría una inversión térmica de microescala, que podría implicar una menor concentración de MP10 en altura y una mayor concentración en los niveles más cercanos al suelo.

Las figuras 69 y 70, muestran las isolíneas de temperaturas en Santiago centro, en mayo de 2005, en primer y décimo piso, respectivamente, en la tarde. En ambos niveles de altura el comportamiento es similar, la mayor temperatura se produce alrededor del mismo lugar y la máxima y mínimas son similares. Esto puede deberse a una mayor estabilidad de la masa de aire y a la condición atmosférica predominante de días nublados. En este caso habría una concentración relativamente homogénea del MP10 tanto en la vertical como en la horizontal.

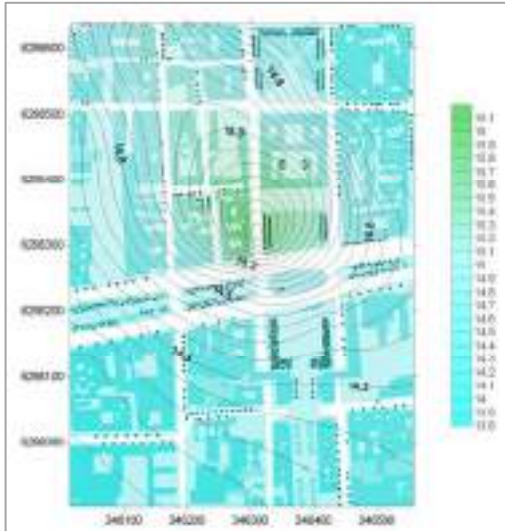


Figura 67. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, mayo de 2005, en la mañana, primer piso.

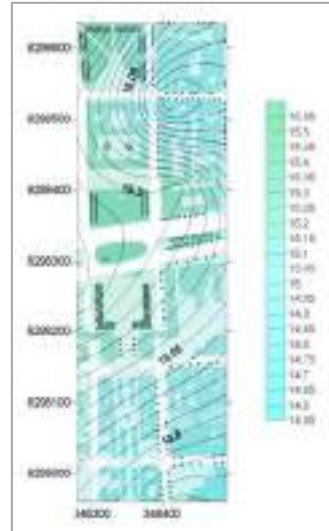


Figura 68. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, mayo de 2005, en la mañana, décimo piso.

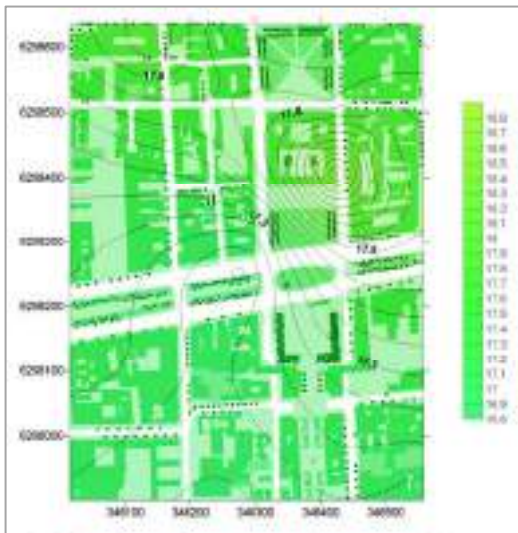


Figura 69. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, mayo de 2005, en la tarde, primer piso.

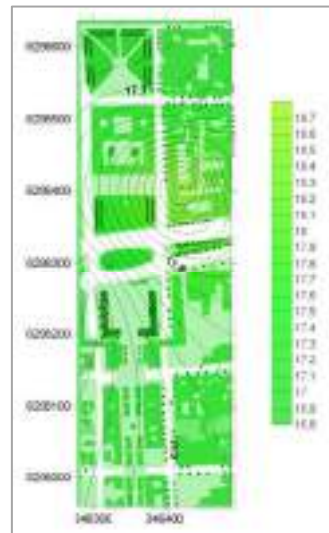


Figura 70. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, mayo de 2005, en la tarde, décimo piso.

Las figuras 71 y 72, muestran las isolíneas de temperaturas en Santiago centro, en junio de 2005, con registros de primer y décimo pisos, respectivamente, en la mañana. En los días de observación en junio, la condición atmosférica registrada fue un tercio de los días lluvias y dos tercios de los días nublados y lluvias.

Se observó mayor temperatura, en el área centro nor-oriente, en calle Morandé, en el borde del espacio de la Plaza de La Ciudadanía. La disminución de la temperatura se observó hacia el sur-poniente, en el sector de Nataniel con

Alonso Ovalle, área de más baja altura de edificación. Esta característica se produce en el primero y el décimo pisos. En esta condición se podría producir la movilización de la masa de aire y disminución de la concentración de MP10.

En el horario de la tarde, (figuras 73 y 74) se observaron mayores temperaturas en las áreas de edificios más compactos y altos, con menor proporción entre altura de los edificios y ancho de calles. En este caso podría darse un desplazamiento y aumento de la concentración de MP10 en la horizontal a nivel de calle, en la dirección sur-poniente.

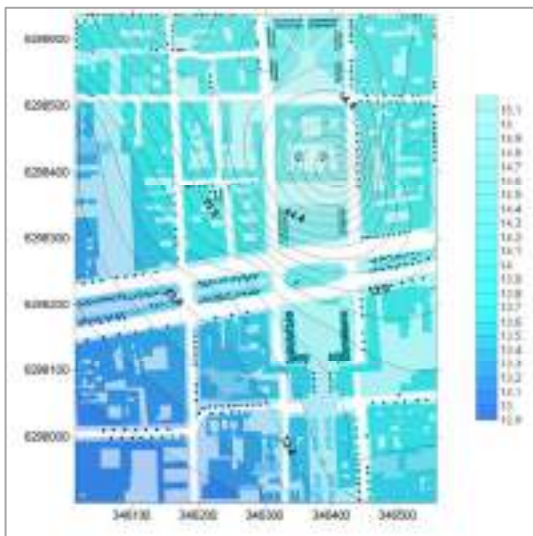


Figura 71. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, junio de 2005, en la mañana, primer piso.

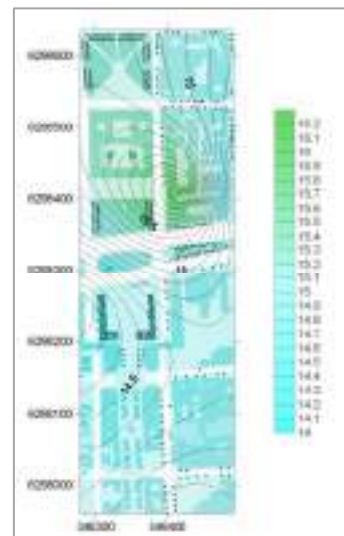


Figura 72. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, junio de 2005, en la mañana, décimo piso.

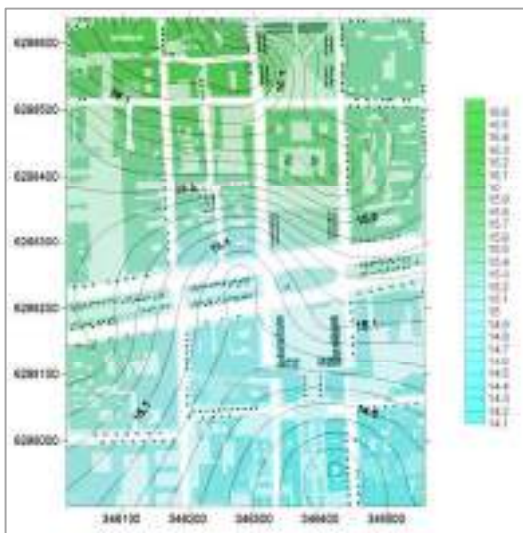


Figura 73. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, junio de 2005, en la tarde, primer piso.

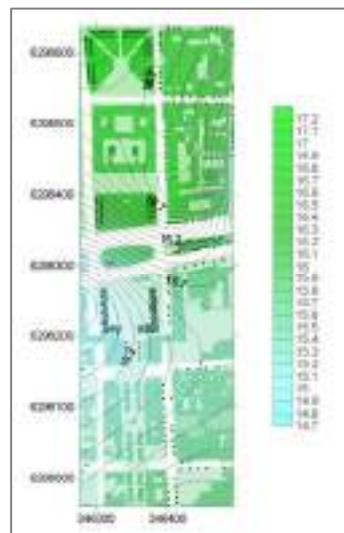


Figura 74. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, junio de 2005, en la tarde, décimo piso.

En la región metropolitana, en otoño e invierno, es frecuente el fenómeno de inversión térmica, siendo de mayor importancia a macroescala. Este fenómeno también ocurriría a microescala de acuerdo a la información analizada. Sin embargo, el sector específico en que se observa la mayor temperatura varía de otoño a invierno. No obstante, siempre podría esperarse menor concentración de MP10 a mayor altura y por ende mayor concentración de MP10 a nivel de los peatones.

Las figuras 75 y 76, muestran las isolíneas de temperaturas de Santiago centro, en septiembre, mediciones en primer y décimo pisos, respectivamente, en la mañana.

La menor temperatura se produce en el piso 10, en Moneda con Morandé, lugar con sombra durante todo el año debido a la exposición de la fachada al sur y al ángulo orientación cercano a 8° , con una diferencia de menos 8°C con respecto a la mayor temperatura observada. Se observan en primer piso mayores temperaturas en el área central y hacia el sur e isolíneas de aumento de la temperatura hacia el sur-orientado, reflejándose así que una edificación más baja y la proporción de altura con respecto al ancho de calles permite mayor acceso al sol en calles y fachadas. La condición atmosférica registrada para estos días fue variable de despejado, nublado y nublado a parcial.

Las figuras 77 y 78, muestran las temperaturas de Santiago centro, en septiembre, mediciones en primer y décimo pisos, respectivamente, en la tarde.

En primer piso la mayor temperatura se observó en el área que recibe la mayor exposición solar, la fachada poniente de calle Morandé, frente a las plazas de La Ciudadanía y de La Constitución y al Palacio de La Moneda, donde además la proporción respecto de la altura edificada respecto del ancho de calles es favorable al acceso solar durante todo el día. Respecto a la diferencia de temperaturas observadas en décimo piso, la menor temperatura se registró en la esquina de Morandé con Moneda, lugar de sombra durante todo el día.

La diferencia de $2,5^\circ\text{C}$ entre los puntos de observación en primer piso y 8°C en décimo piso, tanto en la mañana como en la tarde, se observaron en septiembre, siendo las mayores diferencias observadas dentro del sector, generando posiblemente desplazamientos horizontales muy diferentes de las masas de aire en un nivel y otro y probablemente también de las concentraciones

de MP10, probablemente menor en la vertical en donde la diferencia no alcanza a más de 1 °C, en la mañana. El registro de las condiciones atmosféricas de los días de medición indicó variabilidad: despejado, nublado y nublado a parcial.

Sin embargo, siendo menor la temperatura en altura, esta condición microclimática refuerza la condición natural más propia de la atmósfera en la vertical, generando una disminución de la concentración de MP10, que es el efecto observado en general para la época de primavera.

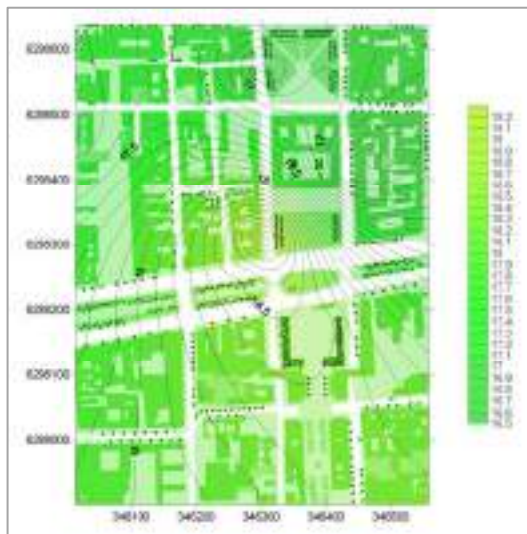


Figura 75. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, septiembre de 2004, en la mañana, primer piso.

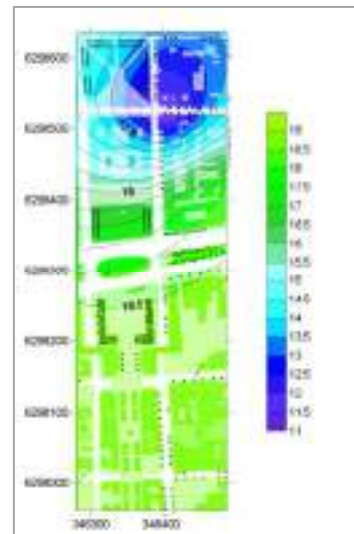


Figura 76. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, septiembre de 2004, en la mañana, décimo piso.

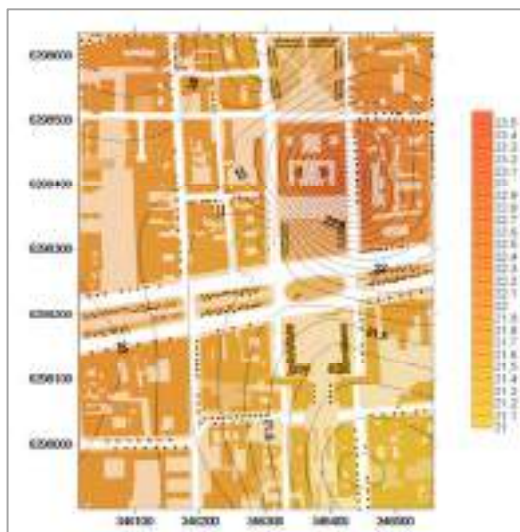


Figura 77. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, septiembre de 2004, en la tarde, primer piso.

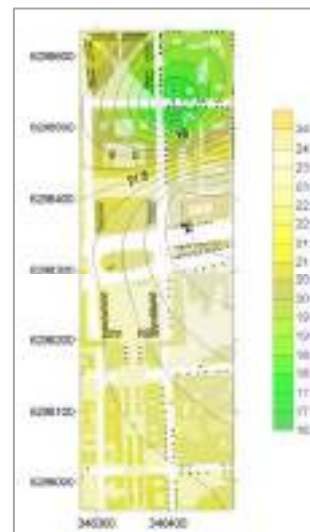


Figura 78. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, septiembre de 2004, en la tarde, décimo piso.

Las figuras 79 y 80, muestran las isólinas de temperaturas de Santiago centro, en diciembre de 2004, los últimos días de primavera, mediciones a 1,5 m y 35 m, respectivamente, en la mañana y las figuras 81 y 82, en la tarde.

Las mayores temperaturas a nivel de primer piso se observan en el espacio urbano más abierto, en calle Teatinos con Alameda, área de mayor exposición solar, menor proporción de altura con respecto al ancho de calles y su orientación norte sur, que en verano, recibe sol toda la mañana. En el piso 10, se concentra la temperatura mayor en calle Morandé frente al Palacio de La Moneda.

El comportamiento de las temperaturas en ambos niveles de alturas es comparable, la menor temperatura se produce en el mismo lugar: sombreado, de orientación sur y alta proporción de altura de la edificación respecto al ancho de calles, tanto en primero como en décimo piso. Esto permitiría tanto el desplazamiento horizontal de las masas de aire como el vertical, contribuyendo a bajar las concentraciones de MP10.

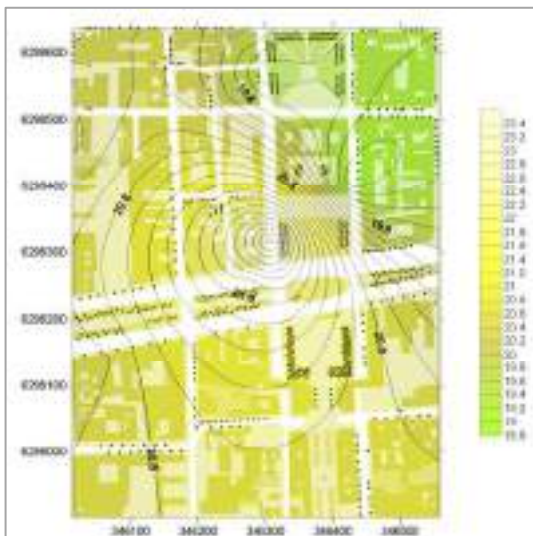


Figura 79. Isólinas de temperaturas promedio en Santiago centro, diciembre de 2004, en la mañana, primer piso.

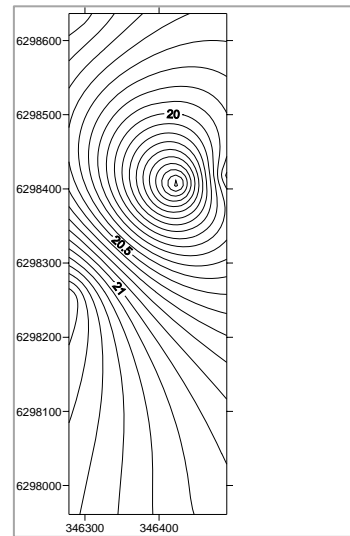


Figura 80. Isólinas de temperaturas promedio en Santiago centro, diciembre de 2004, en la mañana, décimo piso.

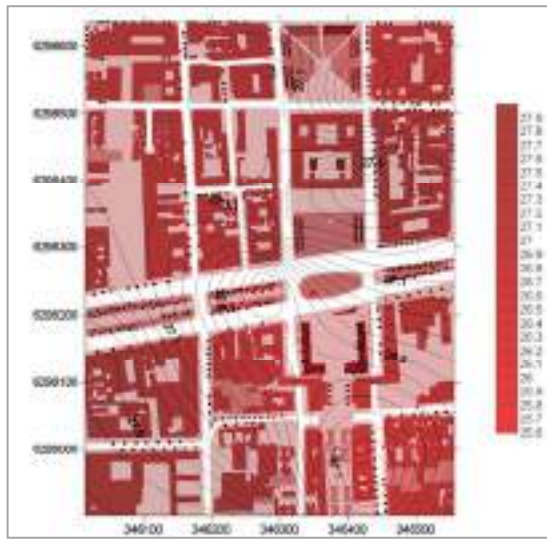


Figura 81. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, diciembre de 2004, en la tarde, primer piso.

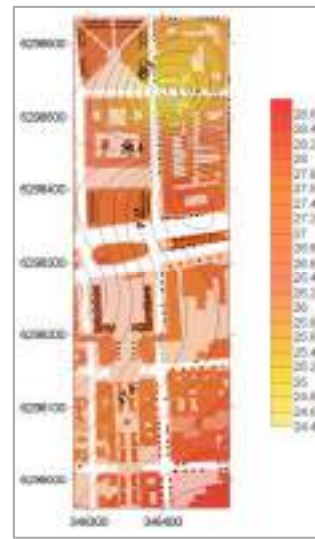


Figura 82. Isolíneas de temperaturas promedio en Santiago centro, diciembre de 2004, en la tarde, décimo piso.

V.3.2 Temperaturas sector Las Condes.

Las figuras 83 a 90, muestran las isolíneas de temperaturas en Las Condes, entre los meses de mayo a septiembre, en primer piso, en la mañana.

En mayo las mayores temperaturas en la mañana se producen en un área despejada de edificios y de vegetación, con ausencia de sombras por no existir obstáculos que la produzcan, que corresponde al interior del estadio Corfo y al área más homogénea y continua en relación a la vegetación y altura de la edificación. De encontrarse en uso el estadio podría ser fuente de MP10 que se desplazaría en las masas de aire en sentido este.

En mayo (figura 83), la gradiente de temperaturas entre la mínima y la máxima es 1,9 °C que podría considerarse homogénea dada la continuidad espacial de la forma urbana, el mayor porcentaje de cubierta vegetal, árboles y césped. Comparativamente con otros materiales de suelo, por ejemplo el pavimento, la cubierta vegetal mostraría temperaturas menores. Las condiciones atmosféricas observadas en otoño predominantemente fueron parcial a nublado, en los días de observación.

En junio se observa que la temperatura mantiene su valor en una extensa área, constituida por una mayor heterogeneidad respecto al emplazamiento de edificios aislados de 3 y 4 pisos y la presencia de árboles. Las condiciones atmosféricas observadas en invierno predominantemente fueron parcial a nublado, en los días de observación. La gradiente de temperaturas entre la mínima y la máxima registrada fue de 2,6 °C.

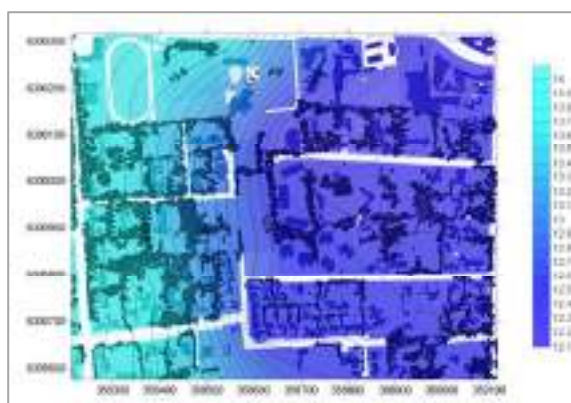


Figura 83. Isolíneas de temperaturas promedio mayo de 2005, en la mañana, en Las Condes.



Figura 84. Isolíneas de temperaturas promedio, junio 2005, en la mañana, en Las Condes.

Las figuras 85 y 86, muestran las temperaturas del sector de estudio Las Condes, en septiembre y diciembre de 2004, en primer piso, en horario de la mañana.

En septiembre (figura 85) al igual que en mayo, se observó una distribución de las temperaturas muy similar, aunque con días preferentemente despejados. Esta misma situación se repitió en el mes de diciembre (figura 86) aunque para temperaturas ligeramente inferiores.

En suma que para los horarios de la mañana se observó en general un comportamiento térmico similar en los meses estudiados; esto podría explicarse por la homogeneidad del área, sin volúmenes edificatorios sobresalientes con relación a la altura promedio, el porcentaje mayoritario de superficie de uso de suelo correspondientes a áreas vegetadas, a la orientación de la trama urbana que permite asoleamiento en todas las caras de los edificios y calles en invierno, y los árboles que protegen del viento y del asoleamiento en el verano.

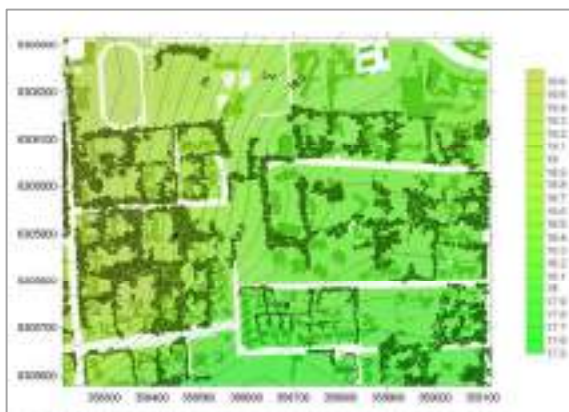


Figura 85. Isolíneas de temperaturas promedio septiembre de 2004, en la mañana, en Las Condes.



Figura 86. Isolíneas de temperaturas, promedio, diciembre 2004, en la mañana, en Las Condes.

Las figuras 87 y 88, muestran las isoterma de temperaturas de Las Condes, en mayo y junio, en primer piso, en la tarde.

Se observaron dos puntos de temperaturas menores en el interior del área, que corresponden, uno de menor tamaño al área de mayor concentración de árboles y uno de mayor tamaño, al área más cercana al área despejada de construcciones. La gradiente de temperatura entre máxima y mínima fue de 2,2 °C;

en invierno se produjo similar comportamiento que en otoño con una gradiente de temperatura de 1,1 °C.

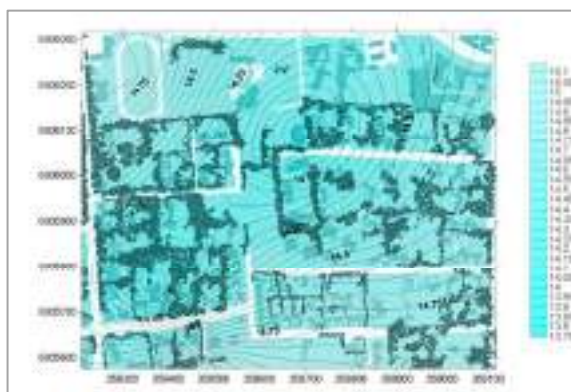


Figura 87. Isolíneas de temperaturas promedio mayo de 2005, en la tarde, en Las Condes.

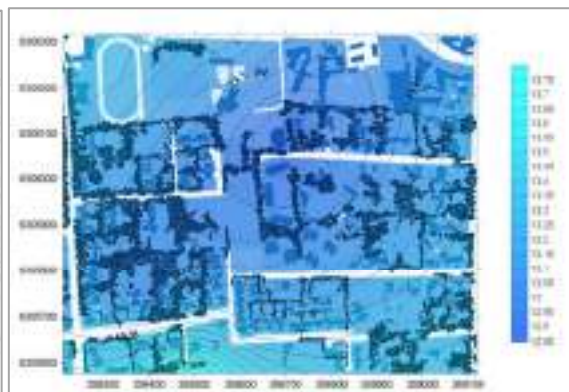


Figura 88. Isolíneas de temperaturas promedio, junio 2005, en la tarde, en Las Condes.

Las figuras 89 y 90, muestran las isoterma de temperaturas de Las Condes, en septiembre, en primer piso, en la tarde.

En septiembre (figura 89) y en diciembre (figura 90) las isoterma muestran un comportamiento térmico similar al de mayo y junio. La mayor temperatura se observó en las áreas de superficie de suelo más despejadas de edificios y de vegetación, y la menor temperatura se observó en áreas sombreadas de gran densidad de árboles. La diferencia de temperaturas entre la mínima y la máxima observadas fue de 2,1 y 1, 2 °C.



Figura 89. Isolíneas de temperaturas promedio septiembre de 2004, en la tarde, en Las Condes.



Figura 90. Isolíneas de temperaturas promedio, diciembre de 2004, en la tarde, en Las Condes.

En Las Condes, tanto en la mañana como en la tarde, se observó en general un comportamiento térmico similar en los meses estudiados; las mayores temperaturas se observaron en el área más despejada de construcciones y de vegetación, y a la inversa, una disminución de la temperatura en un área homogénea, de mayor densidad de árboles y de construcción de baja altura, sin volúmenes edificatorios sobresalientes con relación a la altura promedio. La superficie predominante de áreas vegetadas, la orientación de la trama urbana que permite mayor exposición solar en invierno, y los árboles que protegen del viento y del asoleamiento en el verano, podrían explicar este comportamiento relativamente similar respecto de la morfología urbana del sector.

La relativamente escasa diferencia entre las temperaturas del sector Las Condes, en los meses estudiados, menores a 3 °C y la homogeneidad de la morfología urbana del área, permitirían una escasa movilización de las masas de aire, lo que podría explicar una concentración relativamente homogénea del MP10.

V.3.3 Análisis de las temperaturas en Santiago centro y Las Condes

En la región metropolitana, en otoño e invierno, es frecuente el fenómeno de inversión térmica, siendo de mayor importancia a macroescala. Este fenómeno también ocurriría a microescala de acuerdo a la información analizada.

En Santiago centro en mayo, condiciones que podrían explicar una inversión térmica de microescala, que podría implicar una menor concentración de MP10 en altura y una mayor concentración de MP10 en los niveles más cercanos al suelo.

La diferencias de temperaturas observadas en septiembre, del sector Santiago centro, generaron posiblemente desplazamientos horizontales muy diferentes de las masas de aire en un nivel y otro y probablemente también de las concentraciones de MP10, probablemente menor en la altura. Sin embargo, siendo menor la temperatura en altura, esta condición microclimática refuerza la condición natural más propia de la atmósfera en la vertical, generando una disminución de la concentración de MP10, que es el efecto observado en general para la época de primavera.

En Las Condes, para los horarios de la mañana se observó en general un comportamiento térmico similar en los meses estudiados; las mayores temperaturas tanto en la mañana como en la tarde, se observaron en el área más despejadas de

construcciones y vegetación, esto podría explicarse por la homogeneidad del área, al mayor porcentaje de superficie de uso de suelo correspondientes a áreas vegetadas, con mayor retención de MP10, a la orientación de la trama urbana que permite mayor exposición solar en invierno, y los árboles que protegen del viento y del asoleamiento en el verano.

Los cuadros 8 y 9 muestran las temperaturas promedio en horario de la mañana y de la tarde, respectivamente, en los meses de mayo, junio, septiembre y diciembre, para los sectores Santiago centro y Las Condes. Respecto a los valores promedio máximos y mínimos de la temperatura, se analizó comparativamente para las áreas Santiago centro y Las Condes a nivel de primer piso.

En la mañana, en los meses estudiados, la temperatura es mayor en Santiago centro, con valores de temperaturas no mayores a 2 °C, siendo la mayor diferencia en diciembre, con 4 °C. Excepto septiembre en Las Condes se observaron temperaturas levemente superiores que en Santiago centro, con diferencias de 1 °C.

Se analizó comparativamente los valores de temperatura en mediciones de terreno a nivel de primer y décimo piso, en Santiago centro. Las diferencias en los valores observados son variables y fluctúan entre 0,2 y 2 °C, entre ambos niveles de altura, en las mañanas, excepto en septiembre con 5 °C mayores en la altura. En las tardes las temperaturas son similares. Solo en junio la temperatura es menor a nivel primer y décimo piso.

De los resultados obtenidos se observó que las temperaturas tanto en la mañana como en la tarde, a nivel de calle, son predominantemente mayores en el sector Santiago centro que en Las Condes, excepto en el mes de septiembre, en la mañana.

Respecto a las temperaturas observadas es posible constatar la teoría de las islas de calor, en los sectores de estudio Santiago centro y Las Condes, en los meses analizados, confirmando que las áreas centrales tienen mayor temperatura que las áreas periféricas. Además se observó en las diferencias de temperaturas de materialidades de las superficies, en que se constató que la temperatura de las áreas pavimentadas (predominantes en el sector Santiago centro), son mayores que en el césped (mayor cantidad en el sector Las Condes).

Cuadro 8. Temperaturas promedio diario, en horario de la mañana, en los sectores de estudio.

Mes	Temperaturas extremas	Santiago centro		Las Condes
		1,5 m	35 m	1,5 m
Mayo	mínima	13,9	14,6	12,1
	máxima	16,1	15,6	14,0
Junio	mínima	13,1	14,1	10,6
	máxima	15,1	16,2	12,0
Septiembre	mínima	16,6	11,3	17,7
	máxima	19,2	18,6	19,5
Diciembre	mínima	18,8	19,0	16,7
	máxima	23,3	21,7	18,8

Cuadro 9. Temperaturas promedio diario, en horario de la tarde, en los sectores de estudio.

Mes	Temperaturas extremas	Santiago centro		Las Condes
		1,5 m	35 m	1,5 m
Mayo	mínima	16,9	16,8	13,8
	máxima	18,7	18,7	15,1
Junio	mínima	14,2	14,7	12,9
	máxima	16,6	17,2	13,8
Septiembre	mínima	21,1	16,6	17,4
	máxima	23,5	24,1	19,8
Diciembre	mínima	25,7	24,5	24,3
	máxima	27,8	28,5	25,7

V.3.4 Humedad relativa, sector Santiago centro.

Las figuras 91 y 92, muestran las isolíneas de humedad relativa del aire, del sector Santiago centro, en mayo, en primer y en décimo piso respectivamente, en la mañana. La condición climática en los días de observación, mostró un tercio de los días despejados y el resto nublados. La mayor humedad relativa se concentra en áreas despejadas de construcción, en calle Teatinos, sector poniente del barrio Cívico. Se puede explicar por la evaporación en esa área, sin apreciarse gran diferencia entre ambos niveles de altura.

Las figuras 93 y 94, muestran las isolíneas de humedad relativa del aire del Santiago centro, en mayo, en primer piso y en décimo piso en la tarde. El área que concentra mayor humedad relativa, en la tarde es al oriente del barrio Cívico, en calle Morandé, área de sombra a nivel de calle durante la mañana, lo que se podría explicar por la mayor evaporación desde las superficies pavimentadas. En este caso las áreas de mayor humedad relativa son más amplias, pero no muy diferentes en altura.

Este comportamiento similar de la humedad relativa en ambos niveles, puede deberse a la condición atmosférica predominante de días nublados y a una mayor estabilidad de la masa de aire, lo que podría implicar una concentración relativamente homogénea del MP10 tanto en la vertical como en la horizontal.



Figura 91. Isolíneas de humedad relativa promedio Santiago centro, mayo de 2005, en la mañana, primer piso.

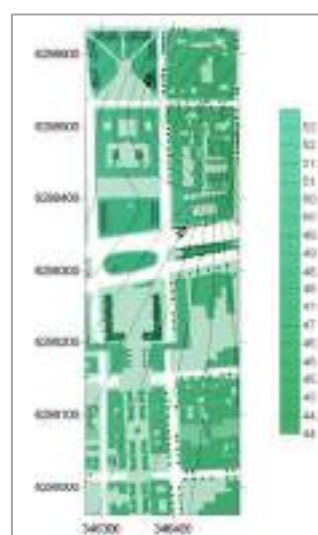


Figura 92. Isolíneas de humedad relativa promedio, Santiago centro, mayo de 2005, en la mañana, décimo piso.

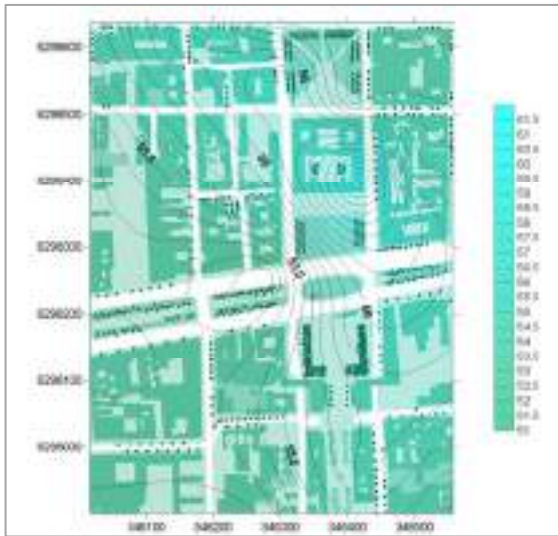


Figura 93. Isolíneas de humedad relativa promedio Santiago centro, mayo de 2005, en la tarde, primer piso.

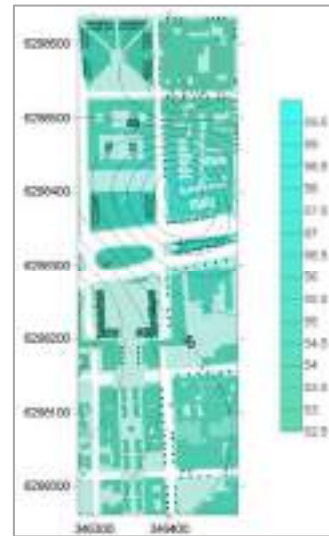


Figura 94. Isolíneas de humedad relativa promedio, Santiago centro, mayo de 2005, en la tarde, décimo piso.

Las figuras 95 y 96, muestran las isótopos de humedad relativa del aire del sector de estudio Santiago centro, en junio, en primer piso y en décimo piso, en horario de mañana. En los días de observación en junio, la condición atmosférica registrada fue lluvia un tercio de los días observados y dos tercios de los días observados variables entre nublados y lluvias.

Se observó una escasa diferencia entre los mínimos y máximos y en la altura, de alrededor de 4% de humedad relativa, condición que se podría explicar por las condiciones atmosféricas observadas, en que se podría producir una disminución de la concentración de MP10, especialmente a nivel de calle, por las partículas transportadas por las precipitaciones.

Las figuras 97 y 98, muestran las isótopos de humedad relativa del aire de Santiago centro, en junio de 2005, en primer piso y en décimos pisos, en la tarde. La diferencia de valores entre el piso 10 respecto del piso 1, es menor en 2 % el valor de humedad relativa mínima, y mayor a 6 % el valor máximo de humedad relativa.

Esta condición podría explicarse por el estado de la atmósfera en los días analizados, relativamente homogénea por las lluvias o la nubosidad presentadas durante todo el día. En esta condición se podría producir la disminución de la concentración de MP10 en ambos niveles.

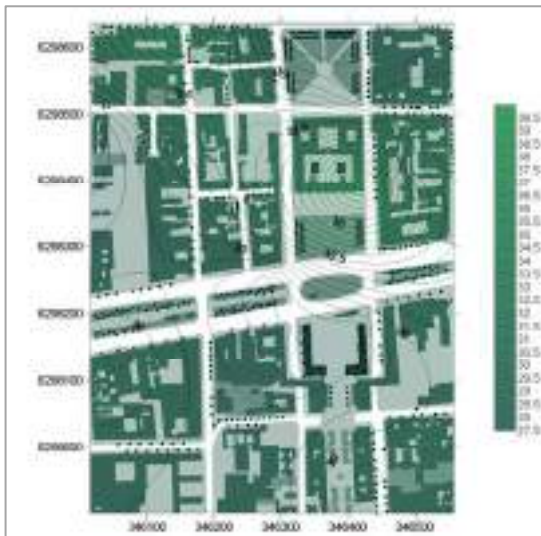


Figura 95. Isolíneas de humedad relativa promedio Santiago centro, junio de 2005, en la mañana, primer piso.

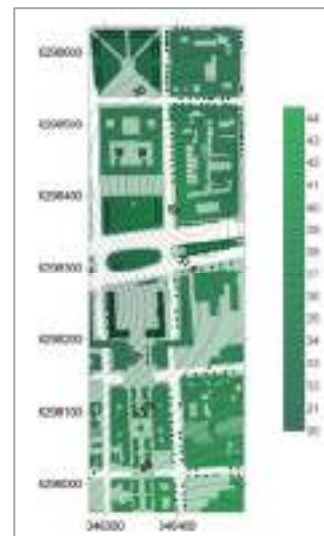


Figura 96. Isolíneas de humedad relativa promedio, Santiago centro, junio de 2005, en la mañana, décimo piso.

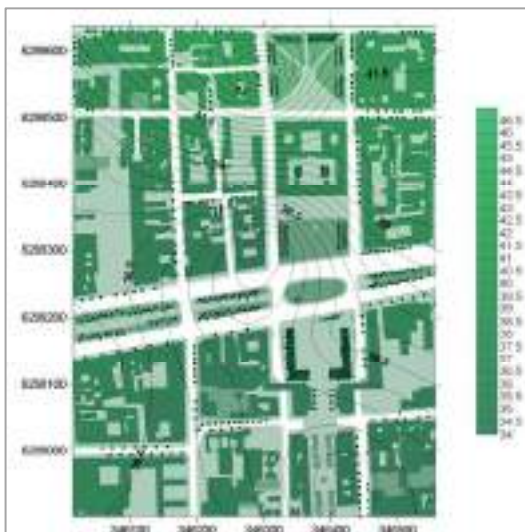


Figura 97. Isolíneas de humedad relativa promedio Santiago centro, junio de 2005, en la tarde, primer piso.

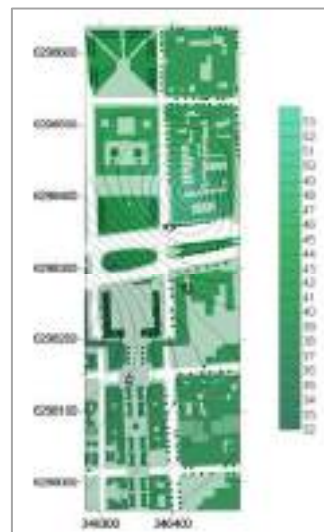


Figura 98. Isolíneas de humedad relativa promedio, Santiago centro, junio de 2005, en la tarde, décimo piso.

Las figuras 99 y 100, muestran la humedad relativa del aire del sector Santiago centro, en septiembre de 2004, en primer piso y en décimo piso, en la mañana y en la tarde, en las figuras 101 y 102, respectivamente. La condición atmosférica registrada para estos días fue despejado, nublado y nublado a parcial.

La variabilidad de las condiciones de la atmósfera registrada en los días estudiados de septiembre, podrían explicar los distintos valores de humedad relativa tanto en los primeros como en los décimos pisos, en las mañanas y en las tardes, en septiembre. Esta condición propia de la atmósfera es este mes, implicaría desplazamientos horizontales y verticales de la masa de aire, que transportarían partículas que disminuirían las concentraciones de MP10.

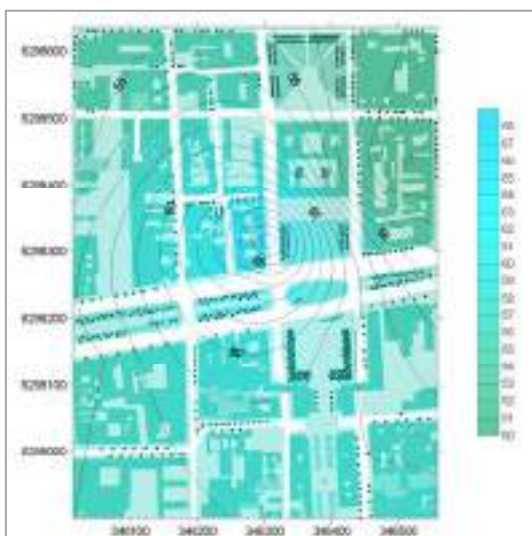


Figura 99. Isohúmedas de humedad relativa promedio Santiago centro, septiembre de 2004, en la mañana, primer piso.

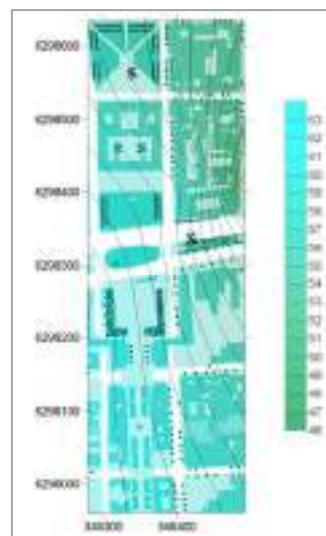


Figura 100. Isohúmedas de humedad relativa promedio, Santiago centro, septiembre de 2004, en la mañana, décimo piso.

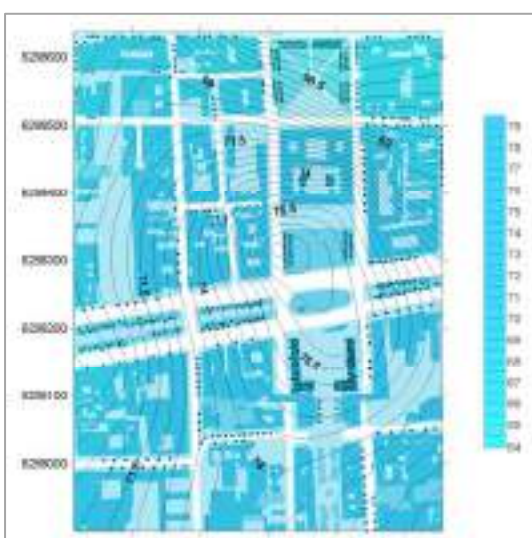


Figura 101. Isohúmedas de humedad relativa promedio Santiago centro, septiembre de 2004, en la tarde, primer piso.

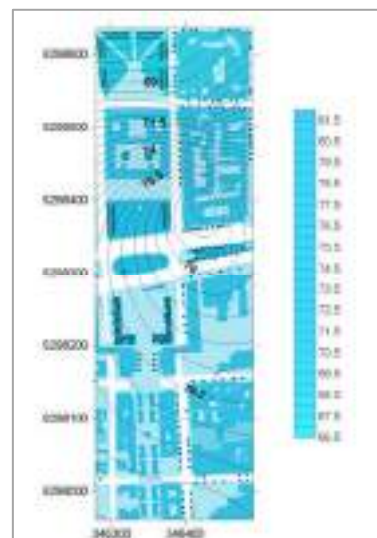


Figura 102. Isohúmedas de humedad relativa promedio, Santiago centro, septiembre de 2004, en la tarde, décimo piso.

V.3.5 Humedad relativa sector Las Condes.

Las figuras 103 a 108 muestran las isolíneas de humedad relativa del aire de Las Condes, en mayo, junio y septiembre, en primer piso, en horario de la mañana y de la tarde.

Las figuras 103 y 104 muestran las isolíneas de humedad relativa del mes de mayo, en Las Condes, en la mañana y en la tarde respectivamente. La condición climática en los días de observación, mostró un predominio de días nublados y parcial a nublados y el resto despejados. Se observó que en las tardes de mayo, el sector Las Condes registra mayores valores de humedad relativa que en la mañana, y se localizan en las áreas más densamente vegetadas, lo que se podría explicar por el proceso de evaporación de la gran cantidad de árboles y césped del área.

Este comportamiento similar de la humedad relativa en ambos horarios, podría explicarse por la condición atmosférica predominante de días nublados y a una mayor estabilidad de la masa de aire, lo que podría implicar una concentración relativamente homogénea del MP10.



Figura 103. Isolíneas de humedad relativa promedio, mayo 2005, en la mañana, en Las Condes.



Figura 104. Isolíneas de humedad relativa promedio, mayo de 2005, en la tarde, en Las Condes.

Las figuras 105 y 106 muestran las isolíneas de humedad relativa del mes de junio, en Las Condes, en la mañana y en la tarde, respectivamente. La condición atmosférica observada en los días de medición, fue de un tercio de los días con lluvias y el resto de los días, nublados. Esta condición se observó durante los horarios de la mañana y de la tarde, sin variación diaria.

Lo observado en las tardes de junio, mostró valores siempre mayores de humedad relativa del aire, en el sector de las Condes, respecto a las mañanas. Las isolíneas muestran que los valores más altos de humedad relativa se producen alejados de las áreas despejadas, (estadio Corfo y Av. Las Condes) y con su máximo valor en el área de mayor densidad de árboles y vegetación.

Las condiciones atmosféricas observadas en junio, de días nublados y con lluvias, es una condición propia de la estación de otoño e invierno. Se produce un transporte de partículas por las precipitaciones y la humedad permanente en días nublados, situación en que se podría producir una disminución de la concentración de MP10 homogéneamente en el área.



Figura 105. Isolíneas de humedad relativa promedio, junio 2005, en la mañana, en Las Condes.



Figura 106. Isolíneas de humedad relativa promedio, junio 2005, en la tarde, en Las Condes.

Las figuras 107 y 108 muestran las isolíneas de humedad relativa del mes de septiembre, en Las Condes, en la mañana y en la tarde, respectivamente. La condición atmosférica observada en los días de medición, fue predominantemente de días despejados, y un tercio aproximadamente de días con variaciones de nublado a parcial y parcial a nublados.

Los mayores valores registrados de humedad relativa del aire, se producen siempre en las tardes, y se observaron hacia el sur de las áreas más densamente vegetadas. Esta condición podría explicarse por la variabilidad de las condiciones atmosféricas y por los desplazamientos de las masas de aire, propios de la estación de primavera, donde se registra una disminución de la concentración de MP10.

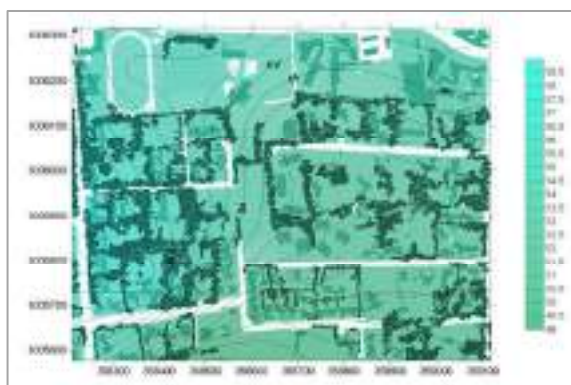


Figura 107. Isolíneas de humedad relativa promedio, septiembre de 2004, en la mañana, en Las Condes.

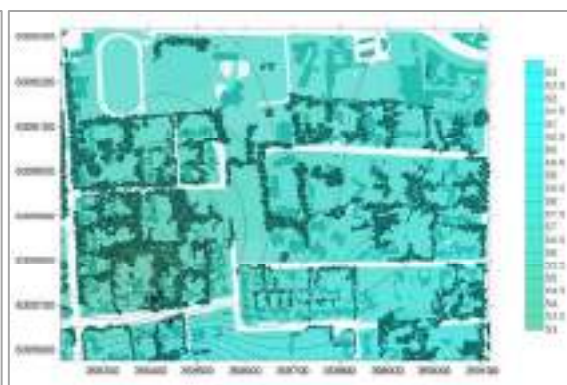


Figura 108. Isolíneas de humedad relativa promedio, septiembre de 2004, en la tarde, en Las Condes.

Los cuadros 10 y 11 muestran la humedad relativa promedio en horarios de mañana y tarde para los sectores de Santiago centro, en niveles de primer y décimo pisos, y para Las Condes, a nivel de primer piso.

Los datos observados en Santiago centro y las Condes muestran que en mayo en las mañanas, la diferencia de valores entre el sector Santiago centro y el sector Las Condes, es mayor 17 % en el valor de humedad relativa mínima y 20 % en el valor máximo. En junio en Las Condes se observó un valor de 1 % de humedad relativa mayor que Santiago centro, en la mínima y 4 % mayor en Santiago centro, en la máxima. En septiembre, la diferencia de valores de humedad relativa entre el sector Santiago centro y el sector Las Condes, es más de 2 % la mínima y mayor 10 % en la máxima.

En todos los meses estudiados, se observó que, excepto en el mes de junio, con una diferencia mínima, todos los valores de humedad relativa de Santiago centro son mayores que las Condes, tanto en la mañana como en las tardes.

En el sector las Condes, los valores de humedad relativa son mayores en las tardes en relación a las mañanas, en todos los meses analizados. Se evidencia el aporte de la vegetación en el proceso de evaporación, que implicaría el transporte de partículas, además de la retención de MP10, que permitiría disminuir la concentración de MP10.

Se podría esperar que en el sector de Las Condes se registraran mayores valores de humedad relativa, sin embargo en el sector Santiago centro, el registro mostró que los valores alcanzados de humedad relativa son mayores. Esto se podría explicar por los mayores valores de temperaturas registradas en Santiago

centro, debido a los fenómenos de isla de calor y a las diferentes temperaturas de los materiales de superficies que aumentarían la evaporación y la humedad relativa en el área.

Cuadro 10. Humedad relativa promedio diarias, en la mañana, sectores Santiago centro y Las Condes.

Mes	Humedad relativa	Santiago centro		Las Condes
		1,5 m	35 m	1,5 m
Mayo	mín	43	44	26
	máx	53	52	33
Junio	min	28	30	29
	max	39	44	35
Septiembre	min	51	46	49
	max	68	62	58

Cuadro 11. Humedad relativa promedio diarias, en la tarde, sectores Santiago centro y Las Condes.

Mes	Humedad relativa	Santiago centro		Las Condes
		1,5 m	35 m	1,5 m
Mayo	mín	51	52	38
	máx	61	59	41
Junio	min	34	33	43
	max	46	53	47
Septiembre	min	64	67	53
	max	79	82	63

V 3.6 Vientos

En el sector Santiago centro, se analizaron la magnitud y la dirección de los vientos, en sentido vertical, en los meses de mayo y junio de 2004 y de 2005, a nivel peatonal y en décimos pisos, en horarios de mañana y tarde.

En los cuadros 12 y 13 se muestra el comportamiento del viento en los puntos de observación. Se indica el predominio y el promedio de velocidad. El porcentaje de calma se indica en porcentaje. Se indica con un guión cuando no se registró viento en el punto de observación.

El cuadro 12 muestra los vientos observados predominantes, en mayo, en la mañana, en primer piso, son sur y este, y son perceptibles por el hombre.

En décimo piso (cuadro 13) se observó una disminución de la magnitud de los vientos con respecto al registro de primer piso, manteniéndose en la mayoría de los puntos de observación, la misma dirección.

Cuadro 12. Velocidad y magnitud de los vientos, porcentajes de calmas, en Santiago centro, en la mañana, en mayo.

Punto de observación	Vientos mayo, primer piso			Vientos mayo, décimo piso		
	Vel m/seg	Dirección	% calma	Vel m/seg	Dirección	% calma
Morandé 59	2	S	60	1,1	N	60
Bandera 52	2,1	S	0	1,1	N	33
Moneda/Morandé	0,8	O	40	0,5	P	0
Agustinas 1253	0,5	O	60	0,8	P	33
Alameda/Teatinos	1,8	O	33	0,9	P	0
Av. Bulnes 140	0,5	N	40	0,6	N	40

Cuadro 13. Velocidad y magnitud de los vientos, porcentajes de calmas, en Santiago centro, en la mañana, en junio.

Punto de observación	Vientos junio, primer piso			Vientos junio, décimo piso		
	Vel m/seg	Dirección	% calma	Vel m/seg	Dirección	% calma
Morandé 59	1,2	N	67	-	-	100
Bandera 52	1,1	S	0	-	-	100
Moneda/Morandé	0,2	O	0	0,5	P	33
Agustinas 1253	0,1	P	33	1,2	P	33
Alameda/Teatinos	0,5	O	33	0,5	P	0
Av. Bulnes 140	0,4	N	33	-	-	100

Las figuras 109 a 111 muestran el comportamiento del viento, la dirección está representada por el sentido de la flecha color rojo. La longitud de la flecha representa de manera esquemática la magnitud del flujo del aire. El punto de origen

de la flecha indica el punto de observación. El círculo rojo representa un 100 % de calmas en el punto de observación.

Las figuras 109 y 110 muestran que los vientos observados predominantes en otoño, en la mañana, en primer piso. En el caso de calle Morandé se produce un bolsón de aire que al desplazarse hacia el norte entre el edificio del Palacio de La Moneda y la fachada, aumenta su velocidad. La Alameda actúa como cajón urbano para el desplazamiento de las masas de aire que aumentan su velocidad al entrar en calles más anchas, como el barrio cívico, lo que podría explicar el incremento de la velocidad del viento. Un caso puntual se observa en calle Bandera, con aumento de la velocidad del viento a nivel peatonal, como consecuencia del paso de vehículos de transporte público que emergen desde el paso bajo nivel de la Alameda.

En el piso 10, se observó una disminución de la magnitud de los vientos con respecto al registro de primer piso, manteniéndose en la mayoría de los puntos de observación, la misma dirección, excepto en el punto ubicado en eje Bulnes (figura 110).

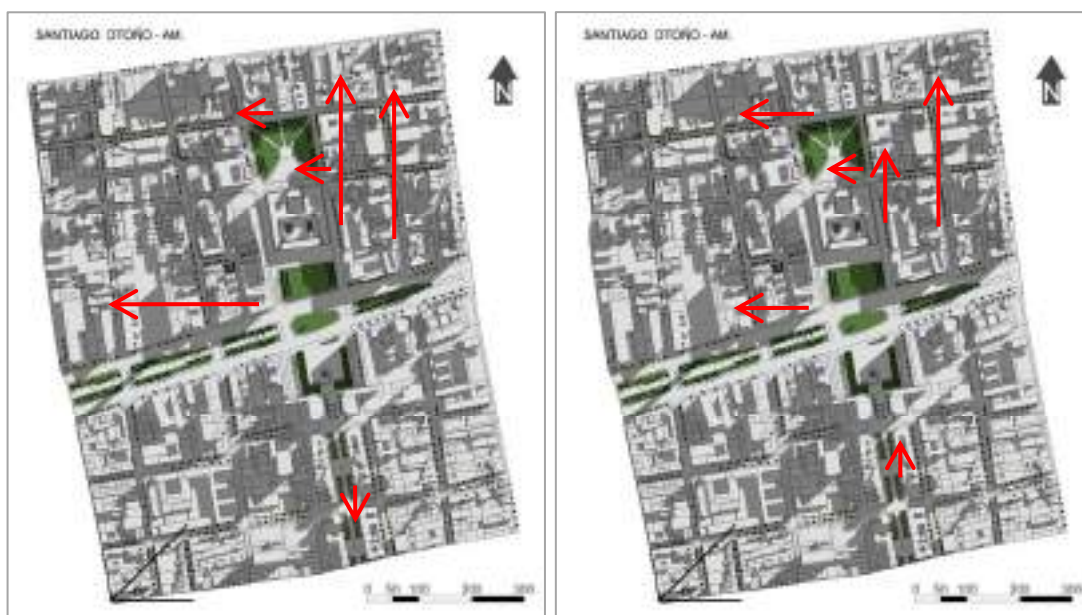


Figura 109. Sector Santiago Centro. Dirección y magnitud de vientos predominantes, en mayo, en la mañana, primer piso.

Figura 110. Sector Santiago Centro. Dirección y magnitud de vientos predominantes, en mayo, en la mañana, décimo piso.

Las figuras 111 y 112, muestran la dirección y magnitud de vientos, en Santiago centro, en las mañanas, en primer y décimo pisos, en el mes de junio. En

el primer piso, se observa similar magnitud de vientos en los puntos de observación, entre . En la tarde hay un importante porcentaje de calmas.

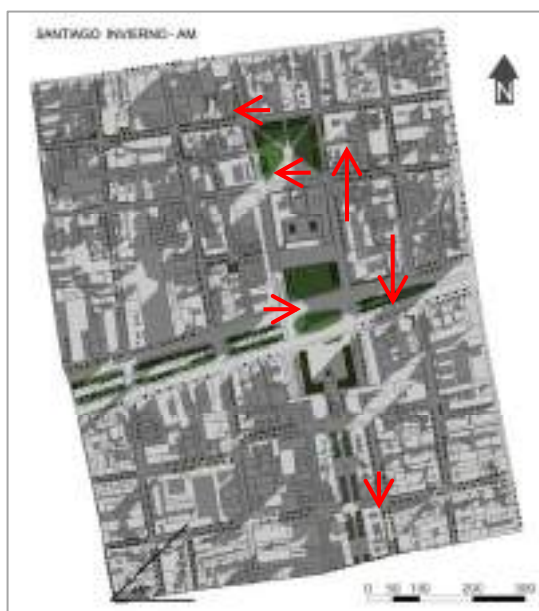


Figura 111. Sector Santiago Centro. Dirección y magnitud de vientos predominantes, en junio, en la mañana, primer piso.

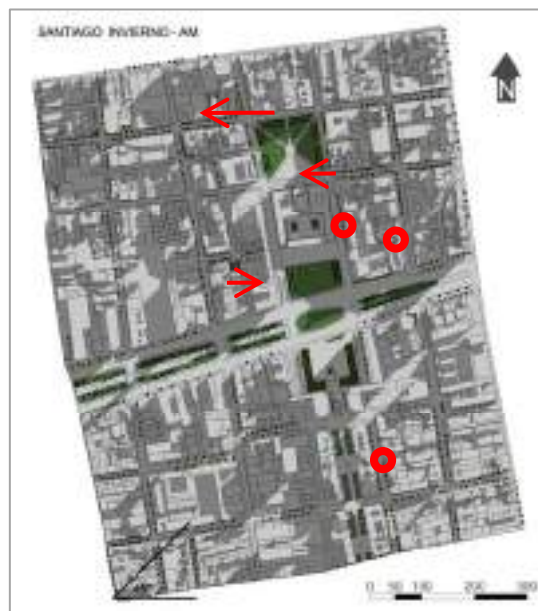


Figura 112. Sector Santiago Centro. Dirección y magnitud de vientos predominantes, en junio, en la mañana, décimo piso.

Un cruce parcial de la información de los parámetros obtenidos en la microescala, se entrega en el cuadro 14, en el factor de enfriamiento de la temperatura postulado por Evans et al. (2001) en décimos pisos y a nivel de calle en el sector Santiago centro, para los perfiles observados en las figuras 113 y 114, que muestran los flujos y turbulencias producidas por la forma de la trama urbana. En Santiago centro en las calles angostas y edificios altos se producen las mayores turbulencias. Como situación específica y conflictiva en la composición del tejido urbano los edificios de gran altura y perímetro libre, influyen en el microclima que ejercen en su entorno al provocar aceleraciones de viento y proyección de sombras en las áreas circundantes.

Cuadro 14. Variables microclimáticas, factor de enfriamiento del aire y sensación térmica en el sector Santiago centro, en otoño.

Punto de observación	Otoño, primer piso, en la mañana				Otoño, décimo piso, en la mañana			
	Velocidad del viento	Temperatura	Factor de enfriamiento	Sensación térmica	Velocidad del viento	Temperatura	Factor de enfriamiento	Sensación térmica
	m/seg	°C	°C	°C	m/seg	°C	°C	°C
Morandé 59	2,0	15,2	9,0	6,2	1,1	15,3	5,0	10,4
Bandera 52	2,1	14,6	9,3	5,2	1,8	15,1	8,1	7,0
Moneda/ Morandé	0,8	14,5	3,6	10,9	0,6	14,7	2,5	12,2
Agustinas 1253	0,6	14,5	2,5	12,0	0,8	15,5	3,6	11,9
Alameda/ Teatinos	1,8	15,0	8,1	6,9	1,0	15,4	4,3	11,1
Bulnes 140	0,6	14,1	2,5	11,6	0,7	14,6	3,0	11,6

Las figuras 113 y 114 muestran gráficamente el comportamiento de los flujos de aire. Los esquemas se realizaron según el análisis realizado por Oke, (1978) y adaptado por Evans et al, (2001). Las líneas de color azul indican el movimiento y la punta de la flecha el sentido del flujo del viento.

El análisis de la información indicó que en Santiago centro, en mayo y junio en la mañana, los vientos presentados a nivel de calle son de mayores velocidades que en la altura. Esta condición aporta a la dispersión de los contaminantes a nivel peatonal, sin embargo estará influenciada por las temperaturas, el asoleamiento y el fenómeno de inversión térmica.

Los vientos predominantes de día en el valle de Santiago tienen dirección sur oeste. No obstante en la microescala, debido al calentamiento de las superficies en áreas urbanas se forman particulares sistemas de vientos que convergen hacia ellas pudiendo arrastrar material particulado sobre el centro de la ciudad. Influye en este comportamiento el arbolado urbano en calles y avenidas, la proporción entre la altura de los edificios y el ancho de calles, y el emplazamiento de los edificios con respecto a la trama urbana, conformando los llamados “cajones urbanos” que provocan turbulencias y desplazamientos de las masas de aire.

Estos fenómenos son complejos además por el efecto del balance de energía superficial; aquellas paredes que reciben buena insolación tienden a generar corrientes convectivas ascendentes, mientras que las que están en sombra, pueden originar efectos de enfriamiento y corrientes descendentes.

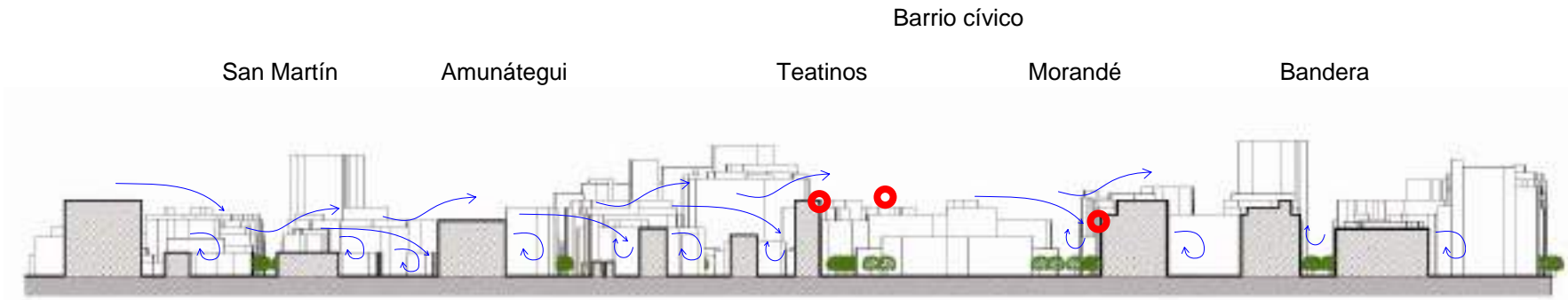


Figura 113. Comportamiento de los flujos de aire, sector Santiago centro, corte transversal barrio cívico.

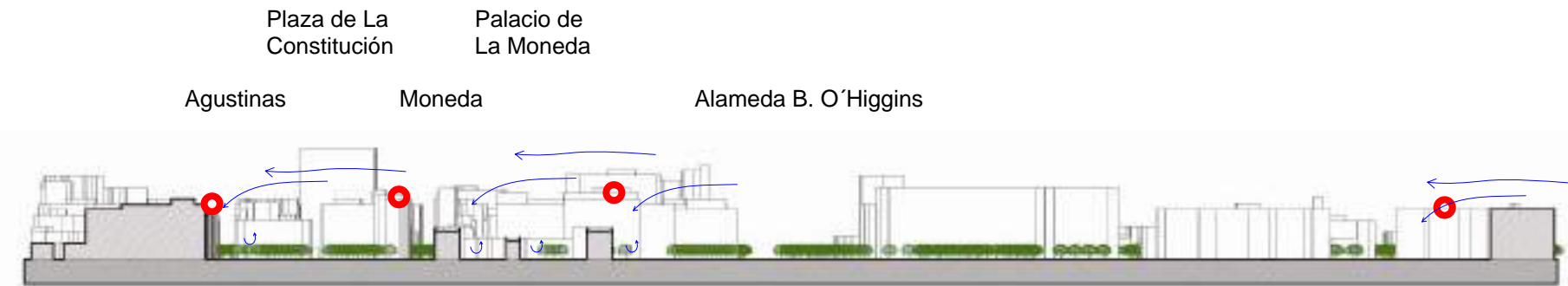




Figura 114. Comportamiento de los flujos de aire, sector Santiago centro, corte longitudinal, barrio cívico.

Simbología:  Punto de observación  Dirección del viento

Escala 

En este trabajo se analizó específicamente el impacto de edificios de gran altura y manzanas compactas y la influencia microclimática que ellos ejercen en su entorno al provocar aceleraciones de viento y proyección de sombras en las áreas circundantes.

En la distribución vertical del material particulado, influye la magnitud y orientación del flujo del aire, afectado por la conformación de cajones urbanos, en el sector Santiago centro. Es posible inferir que en Santiago centro, el espacio del eje cívico, orientado de norte a sur, formado por la Plaza de la Constitución y el Paseo Bulnes y la Alameda, de orientación oriente poniente, son espacios abiertos cuyo volumen de aire puede permitir una dispersión de los contaminantes, en la escala local, haciendo disminuir la concentración de MP10.

V.3.7 Influencia del microclima urbano

Los resultados obtenidos para las variables microclimáticas muestran la interrelación entre variables climáticas y las de conformación de áreas urbanas y consecuentemente de calidad del aire. Por ejemplo, a escala micro-urbana, el ancho y la orientación de las avenidas principales favorece la ventilación.

Al comparar las áreas Santiago centro y Las Condes a nivel de primer piso, se puede observar que existe poca diferencia de temperaturas en los meses de mayo y junio en ambos sectores de la ciudad, siendo las temperaturas promedio mayores en Santiago centro que en Las Condes. La mayor diferencia de temperaturas promedio se observa en diciembre, entre 2 y 4 °C y en horario de la tarde, y en septiembre la temperatura promedio es menor en el sector Santiago centro en relación a Las Condes. Estos datos confirman la teoría de las islas de calor, en el sentido que los sectores céntricos de la ciudad concentran temperaturas más altas que en la periferia.

Con respecto a los materiales de recubrimiento del suelo, se confirma la hipótesis de mayores temperaturas de las áreas pavimentadas en Santiago centro que en el césped en Las Condes, en horario de la mañana. En el horario de la tarde no se observa esta diferencia.

En Santiago centro y las Condes se observaron fuertes diferencias en los valores de la humedad relativa, entre 17 y 20 %, en el mes de mayo, en la época de otoño. En junio la humedad relativa fue mayor en Las Condes, entre 1 y 9 %, y en

septiembre, la diferencia de valores de humedad relativa fue pequeña, del 1 % mayor en Las Condes. Se podría esperar que en Las Condes se registraran mayores valores promedio de humedad relativa, sin embargo en el sector Santiago centro, el registro mostró que los valores alcanzados de humedad relativa son mayores en este sector. Esto se podría explicar por los mayores valores de temperatura registradas en Santiago centro, debido a los fenómenos de isla de calor y a las diferentes temperaturas de los materiales de superficies que aumentarían la evaporación y la humedad relativa en el área.

Complementa esta observación las diferentes temperaturas que las distintas superficies muestran, mayores en el caso de los pavimentos y asfaltos que sobre la vegetación.

Debido al calentamiento de las superficies en áreas urbanas se forman particulares sistemas de vientos que convergen hacia ellas. La consecuencia es la concentración de material particulado sobre el centro de la ciudad.

En las calles encerradas por edificios altos, se producen efectos especiales causados por estos “cajones urbanos” . El flujo es canalizado cuando la dirección del viento es cercana al eje de la calle. En las calles orientadas en forma perpendicular al flujo predominante sobre los edificios, se produce un efecto de bloqueo y se pueden desarrollar vórtices estacionarios dentro del cajón urbano.

Esta situación se evidencia en el centro cívico de Santiago y la Alameda B. O' Higgins donde el flujo de aire tiene mayor velocidad y ocurre donde la proporción del alto de los edificios es mayor al ancho de la calle.

VI CONCLUSIONES

La elaboración de un modelo conceptual, que permitió conocer los componentes del sistema y el flujo de materia y/o energía involucrado en la problemática del sistema en estudio, fue apropiado y permitió la definición del objetivo de la tesis, de los criterios de selección de los casos a estudiar y del programa y la escala del muestreo.

VI.1 Acerca del método diseñado

La información recopilada de distintas fuentes, las mediciones y observaciones de terreno y el tratamiento de la información mediante el método diseñado, fue adecuada.

El conocimiento de programas computacionales disponibles y sus herramientas, permitió superponer información y datos de distinto formato sobre el modelamiento tridimensional digital y generar planimetría que permite visualizar los resultados de manera integrada.

La utilización del método diseñado para el análisis de morfología urbana, en ambos sectores de estudio, permitió la caracterización de las tipologías urbanas, en cuanto a su forma, orientación, agrupamiento, tipos de superficies de suelo y perfiles de calle, generándose un plano base digital para cada área y el modelamiento en tres dimensiones.

La generación de la gráfica de áreas sombreadas arrojadas por los componentes del tejido urbano, permitió el análisis de los tipos de superficies de suelo y asoleamiento, variables que inciden en los requerimientos de energía y eficiencia energética.

La superposición de los gráficos de isolíneas de temperaturas y humedad relativa sobre las distintas zonas urbanas de estudio representadas mediante un modelo computacional bidimensional, permitió evaluar espacialmente los valores de las variables de microclima urbano, utilizando rangos de color.

La generación de información gráfica de la magnitud, dirección y flujos de vientos en la vertical, sobre planos base bi y tridimensionales, permitió concluir acerca de la influencia del viento sobre el enfriamiento del aire, la temperatura de

de la superficie, acuerdo a la rugosidad urbana y sobre la dispersión de los contaminantes, en particular el material particulado MP10.

La comparación de la morfología urbana, en sus variables proporción y orientación y microclima urbano con sus variables de temperaturas, humedad relativa y vientos, permitieron concluir la existencia de mejores condiciones de habitabilidad y mejor calidad del aire, en cuanto a material particulado MP10 en Las Condes.

VI.2 Acerca de los resultados

Las mayores concentraciones horarias de MP10, en los años 2004 y 2005, ocurren en las estaciones del año de otoño e invierno. El sector Las Condes, de acuerdo a lo esperado, registra menores concentraciones de material particulado que Santiago centro.

Las menores concentraciones de material particulado MP10 en Las Condes favorece la salud de las personas, una mayor visibilidad y menor deterioro de las superficies construidas, todo lo cual favorece la calidad de vida en esta área de la ciudad.

Los resultados indican que en Las Condes existe mayor capacidad de retención de material particulado por la naturaleza de los tipos de superficie (ocho veces mayor cubierta vegetal y nueve veces más superficie arbórea). En contraste, en Santiago centro con siete veces más áreas pavimentadas que el sector Las Condes, y donde el arbolado de calle es por especies no autóctonas, de hoja caduca, existe una mayor posibilidad de reciclaje del MP10 por el paso de los vehículos motorizados.

En términos cuantitativos, en el sector Las Condes, los árboles, mayoritariamente nativos de hoja perenne, retienen cerca del 90 % del material particulado respecto al total y el césped, retiene sobre un 8 % del total de unidades de material particulado.

En el sector de Las Condes, las características que favorecen una mejor calidad de vida, en cuanto a su morfología urbana, son: 1) la orientación de su trazado urbano, que favorece el asoleamiento de los espacios exteriores en otoño e invierno y permite el aumento de la temperatura y el flujo del aire y la consiguiente dispersión de contaminantes; 2) la proporción de la altura de la edificación en

relación al ancho de las calles, a escala humana, que impiden la formación de cañones urbanos y turbulencias y otorga mayor superficie de fachadas asoleadas; 3) la presencia de vegetación en cantidad varias veces mayor que el sector Santiago centro, la que cumple el rol de retener material particulado.

VI.3 Aplicación del método diseñado

La aplicación del método diseñado permite recomendar parámetros de diseño arquitectónico y urbano, en formato apto para el proceso de diseño y planificación urbana y lucha contra la contaminación en las comunas de la cuenca de Santiago.

Para el parámetro orientación de la trama urbana, se recomienda diseñar la trama urbana de manera rectangular, en ángulo entre 35° y 55° de desviación este, con respecto al eje norte sur.

Para el parámetro proporción de la altura con respecto al ancho de las calles, se recomienda la proporción: 1:1, alto de los edificios versus el ancho de calles; ello permitirá el mayor acceso solar en las fachadas de edificios y espacios públicos, en invierno.

La forma de agrupamiento pareada y compacta, permitirá menor superficie de envolvente expuesta a condiciones climáticas desfavorables en las estaciones invierno y verano.

El diseño de áreas públicas y privadas con cubierta vegetal posible, árboles de hoja perenne y césped, aumentarán la retención del material particulado.

La aplicación de este método permitiría diseñar áreas urbanas de acuerdo a los resultados que se obtengan para cada localidad, con el objeto de lograr la sustentabilidad ambiental y energética de los edificios urbanos y mejorar la calidad de vida, considerando los siguientes parámetros: 1) uso de la vegetación en la retención de material particulado; 2) aplicación de la proporción ancho de las calles/altura de los edificios, al menos 1:1 para facilitar el transporte y la dispersión de los contaminantes a través de cajones urbanos; 3) emplazar la trama urbana de acuerdo a una orientación que permita un mejor aprovechamiento del sol y por ende del consumo de energía.

VI.4 Comentarios

En regiones con inviernos templados-fríos y abundante radiación solar en verano, el mejoramiento de las características de conservación de la energía, complementado por el aprovechamiento del recurso solar para calefacción permitirán un avance significativo en el camino hacia la sustentabilidad ambiental y energética de los edificios urbanos en el futuro. En forma complementaria, las mejoras en las tecnologías conservativas y solares contribuirán sustancialmente a ese objetivo.

La respuesta de un sistema de aprovechamiento solar en un área urbana, no depende solamente del clima del lugar, sino también de la forma de la misma, de los materiales, la distribución de los ambientes y la orientación. Esto modifica profundamente el comportamiento térmico al interior de los edificios. Estos parámetros que pueden ser evaluados en áreas consolidadas o bien en áreas donde se privilegie, por ejemplo, el acceso al sol en invierno, pueden producir ahorros de energía de calefacción al modificar la tecnología empleada.

Una correcta orientación es importante porque permite el acceso al acondicionamiento bioclimático con toda su potencialidad, ahorrando energía desde el principio, aún cuando no se haya implementado las estrategias de conservación de energía. Para este objetivo se requiere el estudio en profundidad de la carta solar para definir el ángulo de orientación para cada nueva urbanización, definiendo la mejor orientación que permita mayor acceso solar en invierno y menor en verano. Asimismo el estudio de materiales reflectantes y absorbentes en espacios urbanos; el ahorrar energía en la edificación residencial y de servicios, constituye una alternativa que merece atención si el combustible alternativo propuesto, el uso de la energía solar, está disponible y al alcance.

Las estrategias de conservación de energía y los sistemas solares pasivos, se complementan en un determinado clima y se puede obtener con una mínima conservación (que se traduce en un espesor pequeño de aislación) y máximo aporte solar (aberturas solares grandes) o hasta con una apertura solar mínima y máxima conservación. La solución óptima se ubicará en una determinada combinación alejada de estos extremos.

El comportamiento de las características de conservación de energía en la edificación residencial y de servicios, es imprescindible para poder planificar el

crecimiento urbano dentro de un marco de sustentabilidad energética. La caracterización de la iluminación natural disponible, es importante para una variedad de propósitos, entre ellos, la cuantificación del ahorro de energía producida por un adecuado control de la luz artificial.

Los sectores analizados son una consecuencia de la aplicación sucesiva de distintas normativas contenidas en Planes Reguladores y Ordenanzas locales, los que no han considerado aspectos de eficiencia energética en la planificación y diseño de la morfología urbana. Un estudio más acabado de sectores deteriorados con presencia de sitios eriazos y edificios no habitables debido a su estado de deterioro, en áreas centrales y de zonas urbanas menos consolidadas tienen mayores posibilidades de renovación urbana y aplicación de estos parámetros.

Un análisis de la factibilidad técnico-económica de la utilización del clima del lugar para acondicionar térmicamente los ambientes interiores y de este modo reducir el consumo de combustible para calefacción, contribuyendo al proceso de descontaminación de la ciudad. Otros beneficios como la mejor calidad de vida, vivir en ambientes más confortables en invierno y en verano, influye en una mayor productividad.

En cuanto a la morfología urbana, el parámetro de mayor importancia en la conservación de energía es la forma, definida por la orientación, la proporción y el acceso al sol, por relacionar las superficies expuestas al volumen total construido. El conocimiento del comportamiento de la edificación residencial y de servicios, en lo referente a la conservación de energía y el acceso a los recursos energéticos renovables, es imprescindible para poder planificar el desarrollo urbano dentro de un marco de máxima eficiencia energética.

El desarrollo del potencial de eficiencia energética mencionado requiere de la implementación de políticas para el control de la morfología urbana, las cuales deberían responder a objetivos específicos de la planificación urbana y energética en sus correspondientes niveles de intervención.

VII Referencias

AKASAKA, H., NIMIYA, N., and SOGA, K. 2002. Influence of heat island phenomenon on building heat load. Building Serv. Eng. Res. Technol. 23,4 p. 269–278

CONAMA, COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. 2005a. Evolución de la Calidad de Aire en Santiago 1997/2004. Documento publicado en www.conama.cl Consulta 7.12.2005.

CONAMA, COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. 2005b. Material particulado respirable (PM10). Documento publicado en www.conama.cl Consulta 11.10.2005.

CONAMA, COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. 2005c. Modelo de pronóstico para episodios. www.conama.cl Consulta 11.10.2005.

CONAMA, COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. 2008a. Anteproyecto de Revisión, Reformulación y Actualización del PPDA para la Región Metropolitana <http://www.conama.cl/rm/568/article-43577.html> Consulta 14.07.08

CONAMA, COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. 2008b. Estudio de la Variabilidad Climática en Chile para el siglo XXI. Dic 2006 <http://www.conama.cl/portal/1301/article-39442.html> Consulta 14.07.08

CONAMA, COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. 2008c. Normas de calidad y emisión. www.conama.cl Consulta 10.03.2008.

DORIGHELLO, D. 2002. Estudio del comportamiento de la Humedad Relativa del aire en centros urbanos. Depto. de Geografía, U de Sao Paulo. Boletín de la A.G.E. Nº33 – 2002. p.159 – 170.

DE SCHILLER, S., EVANS, J. M. y KATZSCHNER, L. 2001. Isla de calor, microclima urbano y variables de diseño estudios en Buenos Aires y Río Gallegos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 5, 2001. Impreso en Argentina. ISSN 0329-5184

DIARIO OFICIAL 2003. Decreto Nº110 de fecha 6.03.2003. Deja sin Efecto Norma Primaria de Calidad del Aire para Partículas Totales en Suspensión (PTS). Ministerio Secretaría General de Gobierno.

EVANS, J. M. 2005. Técnicas de Diseño Bioclimático. Centro de investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Universidad de Buenos Aires, Pabellón 3, Ciudad Universitaria, Buenos Aires.

EVANS, J. M., DE SCHILLER, S., CASABLANCA, G., FERNÁNDEZ, A. y MURILLO, F. 2001. Ambiente y Ciudad. Secretaría de Investigaciones en Ciencia y Técnica. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Universidad de Buenos Aires. Editorial La Colmena. Buenos Aires.

FARIÑA, J. 2001. Naturaleza urbana. Editor: Instituto Juan de Herrera. Madrid. España. ISSN: 1578-097X <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n15/ajfar.html>

FITCH, J. M., y MORILLÓN, D. 2001. El confort térmico como variable adicional al método tradicional de valuación de inmuebles: caso vivienda del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 5. ISSN 0329-5184

FOLLA, C., CARPONI, M. S., BRIZUELA, A., y LAURENCENA, M. I. 2001. Efecto moderador del arbolado en el ecosistema urbano de la ciudad de Paraná, Entre Ríos - Argentina. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos – Argentina. Versión final 16 de abril de 2001.

GRIMMOND, B. y OKE, T. R. 1998. Heat Storage in Urban Areas: Local-Scale Observation and Evaluation of a simple model. Journal of Applied Meteorology.

HERMOSILLA, P. 2002. El paisaje de Santiago, en la década del cincuenta. Publicación U. Finis Terrae. Año X N° 10. ISSN 0717.

HERNANDEZ, P. 2000. Identificación de los cambios en las variables climáticas de la ciudad de Santiago de Chile y su impacto en la calidad de vida de sus habitantes. Evolución a partir del año 1900. U. de Chile, Escuela de Geografía.

HIGUERAS, E. 1998. Urbanismo Bioclimático. Capítulos 3 y 3.1. <http://habitat.aq.upm.es/ub/a001.html>

MESA, N. A. y DE ROSA, C. 2001. La incidencia de las variables morfológicas, sobre la eficiencia energética de la edilicia urbana en el área metropolitana de Mendoza. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 5. ISSN 0329-5184

MOP, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. 2000. Dirección de Arquitectura. Ambiente Consultores. In Cap. 4. Análisis de Variables que Influyen en el Ahorro de Energía y en la Calidad Ambiental de los Edificios Públicos. Santiago de Chile.

NEILA, F. 2004. Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible. Editorial Munilla-Lería. España.

ODICINO, L. A. y FASULO, A. 2001. Eficacias luminosas globales a partir de valores de radiación solar para la ciudad de San Luis. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 5. ISSN 0329-5184

OKE, T.R. 1978. Boundary Layer Climates. 2º Edición. London. Methuen & Co. LTD. Capítulos 7 y 8.

OLGYAY, V. 2002. Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Editorial Gustavo Gili. p. 14-55

OMM, 2004. Indicaciones de la Organización Meteorológica Mundial para integrar el clima en la política urbana racional.

<http://wmo/Global%20Climate%20Change%20Indicaciones%20de%20la%20MM.htm>

PAPPARELLI, A., KURBAN, A., CUNSULO, M., MONTILLA, E. y ORTEGA, A. 2001. Influencia de la ocupación urbana en el clima de una ciudad de zona árida. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de San Juan. Argentina. Consulta 18.04.2004
<http://mail.inenco.net/~asadedit/avermas/averma3/11-01.pdf>

PRENDEZ, M. 1993. Características de los contaminantes atmosféricos. Capítulo 5. In. Contaminación atmosférica de Santiago. Estado actual y soluciones. Sandoval, Préndez y Ulriksen, Editores.

PRENDEZ, M. y ULRIKSEN, P. 1993. Aspectos Generales. Capítulo 1. In. Contaminación atmosférica de Santiago. Estado actual y soluciones. Sandoval, Préndez y Ulriksen, Editores.

ROMERO, H. y ORDENES, F. 2001. El Gran Santiago y su medio ambiente. Encuentro Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable. 15 de diciembre de 2001. Datos e informaciones proyectos Fondecyt 1970470 y 1000828.

ROMERO, H., ORDENES, F. y VÁSQUEZ, A. 2001. Ecología urbana y gestión ambiental sustentable de las ciudades intermedias chilenas. Proyecto Fondecyt 1000828.

SEOANE, F. A. y EVANS, J. M. 2001. Beneficios del arbolado urbano. Evaluación del balance entre secuestro, demanda energética y otros impactos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 5. ISSN 0329-5184

SEREMI, SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DE SALUD METROPOLITANA. 2008a. Datos calidad del aire - años 2004 y 2005 (enero-diciembre). Material particulado en suspensión fracción menor a 10 micrones (MP10).
www.seremisaludrm.cl

SEREMI, SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DE SALUD METROPOLITANA. 2008b. Estadísticas de episodios críticos.
<http://www.seremisaludrm.cl/sitio/pag/aire/Indexjs3airee001.asp> Consulta 04.04.08.

SERRA, R. y COCH, R. 1995. Arquitectura y Energía Natural. Editions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL, Barcelona.

STEEMERS, K., BAKER, N., CROWTHER, D., DUBIEL, J. and NIKOLOPOULOU, M. 1998. Radiation absorption and urban texture. The Martin Centre for Architectural and Urban Studies, Department of Architecture, University of Cambridge. 0961–3218 # 1998 E & FN Spon.

ULRIKSEN, P. 1993. Factores meteorológicos de la contaminación atmosférica. Capítulo 2. In. Contaminación atmosférica de Santiago. Estado actual y soluciones. Sandoval, Préndez y Ulriksen, Editores.

Anexo 1. Material particulado.

Resumen de normas primarias de calidad del aire

El cuadro 1 resume los valores de las distintas normas primarias vigentes para cada uno de los contaminantes criterio, mostrando su valor en los dos tipos de unidades comúnmente usados para cada contaminante, aunque se define en los decretos de norma cuáles son las unidades establecidas para el informe oficial, y que corresponden a ppbv para Ozono, Dióxido de Nitrógeno y Anhídrido Sulfuroso, ppmv para Monóxido de Carbono, y $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para Material Particulado Respirable. Como ejemplo, se aprecia para el CO que existen dos normas, una horaria y una de 8 horas, ésta última corresponde a 9 ppbv, ó, a $10 \text{ mg}/\text{m}^3\text{N}$.

Cuadro 1 Valor de las normas primarias.

Contaminante		horaria	8 horas	diaria	anual	periodo	Niveles de emergencia ambiental		
							Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
CO	mg/m^3	26 30	9 10	-	-	8 horas	15 – 29 17 - 33	30– 34 34 - 39	35 o superior 40 o superior
O3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		61 120	-	-	1 hora	204 - 407 400 - 799	408 - 509 800 - 999	510 o superior 1000 o superior
NO2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	213 400	-	-	53 100	1 hora	601 - 1201 1130 - 2259	1202 - 1595 2260 - 2999	1596 o superior 3000 o superior
SO2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	96 250	31 80	1 hora	750 - 999 1962 - 2615	1000 - 1499 2616 - 3923	1500 o superior 3924 o superior
MP10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	150	50	24 horas	195 – 239 ICAP 200	240 – 329 ICAP 300	330 o superior ICAP 500

Fuente: adaptado de CONAMA 2008c.

Las condiciones de superación de una norma se resumen en el cuadro 2.

Cuadro 2. Resumen de las condiciones de superación de una norma.

Contaminante	Norma horaria	8 horas	diaria	anual
MP10			Norma primaria como cc de 24 horas: 150 ug/m ³ N. Se considera sobrepasada esta norma cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación clasificada como EMRP**, es mayor o igual al valor de la norma.	Norma primaria como cc anual: 50 ug/m ³ N. Se considerará sobrepasada esta norma cuando la concentración anual calculada como el promedio aritmético de tres años calendario consecutivos en cualquier estación clasificada como EMRP sea mayor o igual al valor de esta norma.

Fuente: adaptado de CONAMA 2008c.

**EMRP: Estación de monitoreo de material particulado respirable MP10 con representatividad poblacional, "Estación monitorea en que se cumplen simultáneamente los siguientes criterios: i) que exista al menos un área edificada habitada en un círculo de radio 2 kilómetros, contados desde la ubicación de la estación; ii) que esté colocada a más de 15 m de la calle o avenida más cercana, y a más de 50 m de la calle o avenida más cercana que tenga un flujo igual o superior a 2.500 vehículos/día; iii) que esté colocada a más de 50 m de la salida de un sistema de calefacción (que utilice carbón, leña o petróleo equivalente a petróleo 2 o superior) o de otras fuentes similares.

Se define Polvo Antropogénico al polvo generado por actividades humanas.

Se define Polvo Natural al polvo no antropogénico, de origen natural.

Se define al Polvo Background como la fracción de material particulado medida en zonas rurales. Esta fracción está comprendida por el material particulado de origen natural, donde no existen impactos directos de emisiones de contaminantes. Básicamente, el polvo background corresponde a la línea base de material particulado en una región.

Las estadísticas de episodios críticos se observan en el cuadro 3.

Cuadro 3: Eventos de alta contaminación por material particulado, fracción menor a 10 micrones (MP10)			
AÑO	ALERTAS	PREEMERGENCIAS	EMERGENCIAS
2007	Abril: 27-29. Mayo: 09-11-14-15-20-23-28. Junio: 03-04-05-07-08-17-19*-25- 27-28-30. Julio: 04-11-26-27-28-31 Agosto: 11.	Abril: Mayo: 12-24 Junio: 29 Julio: 19 Agosto:	Abril: Mayo: Junio: Julio: Agosto:
Total	27	4	0
2006	Abril: 17-19-26-27-29-30. Mayo: 01-07-10-11-13-14-20-23. Junio: 12-14-15-22-23. Julio: 19. Agosto: 25.	Abril: Mayo: 12-21. Junio: Julio: Agosto: 02	Abril: Mayo: Junio: Julio: Agosto:
Total	21	3	0
2005	Abril: 20-24-30. Mayo: 27-28-31. Junio: Julio: 06. Agosto:	Abril: 17. Mayo: Junio: Julio: 29. Agosto:	Abril: Mayo: Junio: Julio: Agosto:
Total	7	2	0
2004	Mayo: 05-18-20-27. Junio: 01-03-12-13-14-15-16. Julio: 18-31.	Mayo: 19. Julio: 17.	
Total	13	2	0
2003	Abril: 11. Mayo: 02-03- 04-06-07-11 24-25-26-27-29. Junio: 01-08-20. Julio: 02-12-16-19-30. Agosto: 10.	Mayo: 12-19-20*-28. Julio: 11.	
Total	21	5	0
2002	Mayo: 04-05-08-09-10-11-12-22-30. Junio: 14-15-16-18-19-24. Julio: 09-10-11-12-16-17-18.	Mayo: 06-07. Junio: 12-13-17-20-21-22-23.. Julio: 13-14.	

Total	22	11	0
2001	Abril: 25. Mayo: 03-04-19-23-24. Junio: 07-08-11-19-20-21-22-23-25. Julio: 05-12-27. Agosto: 08-21-22.	Junio: 09-10-26-27.	
Total	21	4	0
2000	Abril: 24-27. Mayo: 08-13-17-18-22-23-27-29-30. Junio: 02-09-10-19. Julio:04-06-13-16-17-18-19-23-24-27. Agosto:17- 18.	Abril: 13-22-30. Mayo: 07-28. Junio: 01. Julio: 05-14-15-25-26.	
Total	27	11	0
1999	Mayo:13-20-22-23-24-31. Junio:01-05-21. Julio:11. Agosto: 27.	Abril: 12 - 18 - 24. Mayo: 16-18. Junio: 04 -12-20. Julio: 07-17-18-25. Agosto: 01-09.	Julio: 26
Total	11	14	1
1998	Marzo:27-28. Abril:09-21. Mayo:07-08-20-21-31. Junio:01-03-23-24-27-28. Julio:04-11-20. Agosto:02-03-17. Septiembre:11.	Marzo: 26. Abril: 30. Mayo: 01-19. Junio: 04- 25- 26. Julio:10-12-17-29 Agosto: 31.	Mayo: 18.
Total	22	12	1
1997	Agosto: 07-10-11-12-13-27-28.	Mayo: 08. Julio: 16-19-23-24-25-26-27-28. Agosto: 06-08-09. Septiembre: 17.	

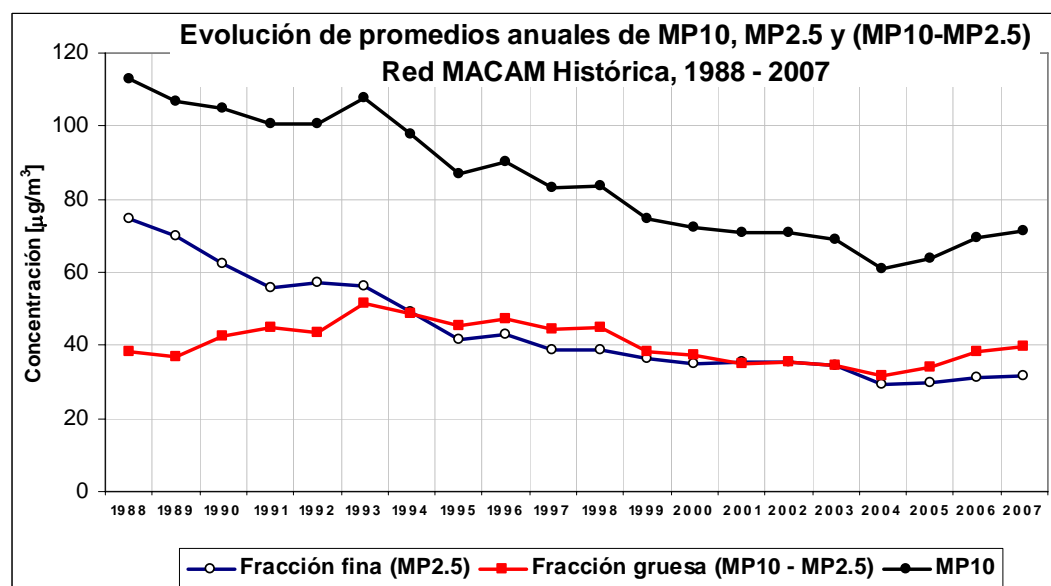
Fuente SEREMI, 2008b.

Figura 1. Red MACAM-2. Estaciones de monitoreo 2004.



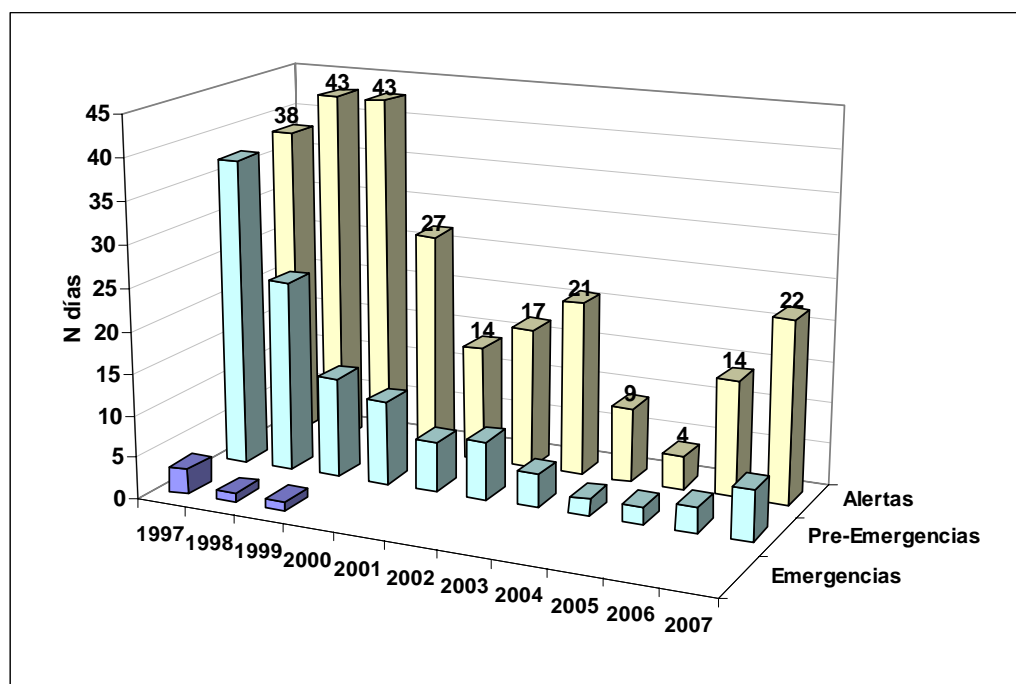
Fuente CONAMA, 2005a

Figura 2. Evolución de promedios anuales de MP10, MP2,5 y (MP10-MP2,5). Red MACAM Histórica, 1988 – 2007.



Fuente SEREMI, 2008b.

Figura 3. Estadísticas de episodios críticos de contaminación en la región metropolitana.



Fuente SEREMI, 2008b.

Anexo 2 Cuadro 1 Planilla de observación de microclima.

PTO. OBSERVACION	HORA	VEL.VIENTO	DIR.VIENTO	TEMP.	HUMEDAD	CONDICION ATMOSFERA	OBSERVACIONES
		M/S		°C	%		COMENTARIOS ALERTA AMBIENTAL
Morandé 59 piso 1	9:04	-	-	15	33	nublado	instrumento en °C 36 19
piso 10	9:00	-	-	15,8	40	nublado	-
Bandera 52 piso 1	10:22	3	S-N	17	47	nublado	vehiculos circulando
piso 10							no se midió
Moneda/Morandé piso1	9:08	-	-	16,2	40	nublado	bus estacionado c/motor encendido
piso 10							no se midió
Pza. Constitución	9:12	-	-	15,5	34	nublado	-
Agustinas 1253 piso 1	9:15	-	-	16	37	nublado	vehiculos circulando
piso 10							no se midió
Teatinos 120	10:18	-	-	16	42	nublado	vehiculos circulando
Alameda/Teatinos p 1							no se midió
piso 10							no se midió
Alameda Vereda Sur	10:13	-	-	15,9	40	nublado	vehiculos circulando
Av. Bulnes 140 piso 1	9:48	-	-	16	40	nublado	-
piso 10	9:58	-	-	16,2	42	nublado	-
Tarapacá/Sn Diego	10:06	2	S-N	16,7	42	nublado	vehiculos circulando
Lord							
Cochrane/Tarapacá	9:43	-	-	16,1	40	nublado	vehiculos circulando
Alameda/Sn Martin	9:33	-	-	16	37	nublado	-
Moneda/Sn Martín	9:25	-	-	15,5	32	nublado	vehiculos circulando
Agustinas/Amunátegui	9:17	1	P-O	16,2	35	nublado	vehiculos circulando