



DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION URBANO-REGIONAL - FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO - UNIVERSIDAD DE CHILE

# CLIMAS URBANOS

MEDIO AMBIENTE Y PLANIFICACION DEL ESPACIO



DR. ORLANDO PEÑA ALVAREZ  
UNIVERSIDAD DE CHILE - VALPO.

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION URBANO-REGIONAL  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO - UNIVERSIDAD DE CHILE

Proyecto; Caracterización biosférica del Medio Chileno

Documento de Trabajo  
1975-4  
C.D.U. 551. 588.7



CLIMAS URBANOS, MEDIO AMBIENTE  
y PLANIFICACION DEL ESPACIO.

Dr. Orlando PEÑA Alvarez

(Texto de una conferencia pronunciada en DEPUR el 13 de agosto de 1975).

Santiago, Agosto de 1975.

Dr. Orlando Peña Alvarez \*\*

RESUMEN: Se hace un análisis de la noción de Climatología Urbana y se le ubica dentro de un esquema conceptual propuesto por el autor en un trabajo complementario ("Para la comprensión y el uso de algunos conceptos climatológicos", en Notas Geográficas N° 4, Valparaíso, 1975). Enseguida se presentan algunos rasgos generales de los climas urbanos, haciendo especial hincapié en los valores térmicos y de radiación, de humedad atmosférica y campos de vientos y en sus relaciones con la situación y el sitio de las ciudades, con la morfología urbana y con la contaminación del aire.

Se establece la necesidad de estos estudios climatológicos, vinculándolos a las tareas de la planificación urbana y regional, destacando se algunas experiencias de este tipo realizadas o en realización en Alemania Federal y en Chile. Finalmente se presentan ciertas técnicas de investigación de los climas urbanos (utilizables también en otros estudios de climas locales), haciéndose referencia a algunos resultados preliminares obtenidos en la ciudad Friburgo/Br., Alemania Federal.

#### 1. CONCEPTO DE CLIMATOLOGIA URBANA:

En un trabajo anterior (Peña, 1975) hemos intentado ubicar el concepto de Climatología Urbana dentro del contexto general de la terminología usada en nuestra especialidad para referirse a los distintos estudios que se efectúan teniendo como objeto el aire atmosférico y, naturalmente, los comunidades que viven de él y en él.

Hemos propuesto situar la Climatología Urbana dentro del nivel de la Mesoclimatología y, más particularmente, en el ámbito de la Climatología de Paisajes o Local. Esa Climatología de Paisajes o Local posee una mayor especificidad, con interrelaciones más evidentes y directas entre los distintos elementos y factores geográficos. La abstracción y la generalización que son fundamentales en la Macroclimatología y que intervienen aún, aunque en bastante menor medida, en la Climatología Regional y Subregional, dejan pa-

---

(\*) Texto de una conferencia leída el 13 de agosto en el Departamento de Planificación Urbano-Regional de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, en el contexto del Proyecto Caracterización biosférica del Medio Chileno.

(\*\*) Profesor del Departamento de Geografía de la Universidad de Chile de Valparaíso.

- Portada: Gabino Vásquez.

so en este subnivel a realidades geográficas más concretas, singulares y, por ello, de difícil homologación o tipificación. Cada paisaje, cada ámbito local tiene particularidades propias; constituye -en una amplia acepción de los criterios de Paffen (1948)- una unidad ecológica. Sobre ella actúa la Climatología, afinando su enfoque, sus métodos y su intencionalidad.

En esta perspectiva y con idéntica propiedad, pensamos que se puede hablar de una Climatología de Paisajes Urbanos y de otra de Paisajes no Urbanos. La primera la denominaremos naturalmente, Climatología Urbana y la segunda, Climatología Orográfica y Agroclimatología.

Ciudades, valles y otras unidades del relieve superficial, áreas de cultivos y/o de bosques, pueden ser englobados en una sola categoría genérica de entidades geográficas, los "paisajes" que hemos mencionado, empleando para su estudio técnicas que pueden ser consideradas como relativamente iguales. Los problemas de radiación-irradiación, exposición, humedad diferenciada, circulación local y ventilación-contaminación, etc., tienen importancia parecida en unos y otros casos y permiten distinguir, en cualquiera de ellos, sub-espacios más o menos favorables a la instalación y actividad humanas. Por ende, los estudios climáticos locales o de paisajes proporcionan bases concretas de planificación territorial que se vierten enseguida a los proyectos de planeamiento regional. En este sentido es que el flujo entre los dos subniveles que hemos reconocido para la Mesoclimatología (Climatología Regional y Subregional y Climatología de Paisajes o Local) va desde el más particular hacia el más general. Todo esto sin dejar de reconocer que, dinámicamente, como lo plantea Pédelaborde (1970), el hecho mayor del clima local lo constituye el clima regional que se modifica en condiciones geográficas más estrechas, limitadas a veces a sólo algunos kms.2.

## 2. ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LOS CLIMAS URBANOS; CIUDADES Y MEDIO AMBIENTE:

Puede parecer innecesario referirse a algunas características de los climas urbanos habiendo una abundante producción científica a la cual recurrir, dentro de la cual destacaremos dos obras de síntesis que nos parecen de primordial importancia para los interesados en el tema: "Das Stadtklima" de Kratzer (1956) y la Nota Técnica N° 108 de la Organización Meteorológica Mundial sobre Climas Urbanos (1968). Sin embargo, conviene siempre puntualizar ciertos aspectos que adquieren especial relevancia en el contexto de este trabajo, particularmente a la luz de las referencias que haremos luego sobre técnicas de investigación en Climatología Urbana.

Primeramente reconoceremos junto con Georgii (1968) que las ciudades modifican el clima mediante cambios de la topografía local por construcción de calles, casas, plazas, grandes edificios e instalaciones industriales; la mayor densidad de la edificación aumenta la rugosidad aerodinámica de la superficie, mientras que el suelo natural es reemplazado por cemento que transporta rápido y lejos el agua de las precipitaciones. Como esta agua no se mantiene en superficie o inmediatamente debajo de ella -como ocurre en el campo- hay mucha menos oportunidad para la evaporación en las áreas urbanizadas, de manera que la energía calórica que se habría derivado hacia ese proceso (que, como se sabe, produce enfriamiento) sirve, por el contrario, al recalentamiento de la atmósfera urbana (Lowry, 1967).

A esta fuente de calor urbano se agrega la que corresponde al aporte artificial de energía por medio de la combustión doméstica e industrial. La contaminación del aire, que es la segunda base de caracterización de los climas urbanos según Georgii (op. cit.), crea una especie de "campana" grisácea bajo la cual se encuentra la gran ciudad y que modifica todo el balance de radiación en el área urbana; se debilita la cantidad global de radiación solar recibida en superficie, pero por el recalentamiento interno de las grandes aglomeraciones señalado más arriba, el clima urbano es más cálido aunque recibe menor energía solar (Pédelaborde, op. cit.).

La misma diferencia en calidad de los materiales superficiales en ciudad y campos que ya se ha mencionado permite un mayor almacenamiento de calor en las primeras. Los materiales predominantemente rocosos de los edificios y las calles pueden conducir el calor casi tres veces más rápido de como lo hace un suelo arenoso y húmedo. Conjuntamente con ello, la infinitamente mayor variedad de formas y orientaciones del paisaje urbano, en el que las murallas, techos y suelos producen múltiples haces reflectantes que permiten llevar la radiación hacia muchos planos absorbentes, hace que casi toda la superficie de la ciudad sea usada para ese almacenamiento de calor, mientras que en un área abierta o plantada el calor tiene de ser almacenado solamente en la parte alta de las plantas (Lowry, op. cit.).

Las consecuencias de estos hechos se expresan como marcadas diferencias de temperaturas entre ciudad y campos circundantes o entre el centro de la ciudad y los barrios periféricos -más en invierno que en verano y mayor al amanecer que a otras horas del día-. En general, se advierte en las grandes ciudades el diseño de una o varias "islas de calor" que, a su vez, se relacionan con ciertos patrones de distribución de la humedad atmosférica y con la formación de un sistema urbano de circulación de vientos.

En efecto, de acuerdo con el principio físico de que la marcha de la humedad relativa es inversa a la de las temperaturas, el centro de las grandes ciudades muestra normalmente la menor humedad relativa y éste registra allí una variación más reducida que la observada en otros sectores urbanos. Por su parte, el aire de las ciudades es en general más seco que el aire del campo.

Junto a esta relación temperatura-humedad relativa se puede atribuir la mayor sequedad del aire urbano a la creciente cantidad de partículas de humo y polvo en torno a las cuales el vapor de agua condensa sin seguir participando ya en la presión de vapor y en la humedad, a la deficiencia de humedad del suelo ya explicada como resultado del más expedito escurrimiento de las aguas sobre las superficies urbanas con lo que la evaporación local se reduce enormemente y a la limitación de los movimientos verticales del aire, particularmente en invierno (Kratzer, 1956).

Otros acontecimientos meteorológicos asociados a la humedad atmosférica, como son las nieblas, nubes y precipitaciones, pueden ayudar también a diferenciar campos y ciudades. No profundizaremos, sin embargo, en ellos por la discontinuidad de su registro y por las marcadas peculiaridades que adoptan en función de otros hechos atmosféricos de escala distinta a la que estamos considerando. Situaciones meteorológicas de ámbitos de influencia que superan ampliamente cualquier espacio urbano comandan la

formación y el desplazamiento de los sistemas nubosos y de las áreas de lluvias. Las nieblas, nubes y precipitaciones originadas estrictamente a partir de las ciudades son de importancia climatológica menor, lo que no impide —empero— que recalquemos la necesidad de su evaluación en las investigaciones de climatología urbana.

Por ahora, los vientos concentran más nuestro interés. La influencia de las ciudades sobre ellos es a la vez térmica y mecánica. Las distintas temperaturas provocan alteraciones de pequeña escala al interior del sistema de vientos urbanos como consecuencia de las microinfluencias provocadas por el recalentamiento diferenciado de diversos lugares de la ciudad o entre suelo, calles, parques, edificios, etc. Lo más importante, en todo caso, es que con tiempo anticiclónico principalmente (es decir, en condiciones de acentuada estabilidad) se produce en las noches una convergencia de vientos hacia el centro de las grandes ciudades que podemos prolongar a través de un movimiento vertical a partir de dicho centro con movimiento descendente fuera de la "isla de calor", con lo que este sistema local de circulación se cierra. Naturalmente, la intensidad de esta célula de difusión dependerá de las diferencias de temperatura entre el centro de la ciudad y la periferia (Georgii, 1968), habiéndose señalado por Berg (1943), la necesidad de una diferencia inicial de 5°C para que este sistema de vientos pueda generarse. Por otra parte, ese sistema será responsable del traslado de gran parte de las emisiones de contaminantes desde la periferia hacia el centro (Marr, 1970).

El comportamiento mismo del viento dentro de la ciudad tiene tantas variaciones como la distribución de sus temperaturas. La dirección de las calles, su ancho, la altura de las construcciones adyacentes, su trazado en relación a las coordenadas y por lo tanto respecto a los planos de insolación, provocan grandes diferencias en los recorridos de los vientos.

La influencia mecánica de las ciudades sobre los vientos es semejante a la de un amplio obstáculo colocado en el camino de aquellos. Por lo común se registra una disminución local de la velocidad de los vientos como consecuencia de la mayor fricción. Más aún, en muchas ciudades la frecuencia de las calmas es superior entre 5 y 20% a la de los campos circundantes. Esta reducción de la velocidad del viento, particularmente durante el invierno, disminuye el proceso de enfriamiento y al mismo tiempo reduce su capacidad de disipación de las sustancias contaminantes (Landsberg, 1956). En general, no es frecuente que el sistema de vientos propios de las ciudades alcance grandes velocidades por lo que la dispersión de contaminantes por este medio es de poca eficacia. Como, además, vientos de velocidad incluso superior a 5 m/s sólo modifican levemente el patrón de distribución de las temperaturas (Sekiguti, 1957), podemos afirmar que el sistema interno de vientos conserva y refuerza las condiciones que permiten su existencia, en tanto no se generen influencias exteriores de meso y macro escala que destruyan todo ese equilibrio que es precisamente lo que ocurre al paso de perturbaciones y, en general, en situaciones de inestabilidad atmosférica en la región.

Hay que plantear, finalmente, una evidente relación entre todos los parámetros climáticos urbanos y las características topográficas y de uso del suelo todo el sitio en que cada ciudad está emplazada. Friburgo/Br., por ejemplo, en el contacto de la Selva Negra y la llanura del Alto Rin, pre-

senta un sistema circulatorio cuyo elemento fundamental lo constituye la alternancia de vientos de montaña y valle (el "Hollentäler"). En otras condiciones geográficas y aunque carecemos por el momento de datos específicos, es indudable la diferencia de los climas urbanos de Santiago y Valparaíso. La primera ciudad se sitúa al interior de una cuenca topográfica bien delimitada y posee una gran densidad de población, construcción, industrias y vehículos, todo lo cual permite suponer que la contaminación del aire, generación de islotes de calor, convergencia (especialmente nocturna) de vientos hacia su centro, etc., adoptan características semejantes a las de otras grandes metrópolis del mundo, como las que han servido para diseñar los rasgos generales del clima urbano antes anotados. En cambio, Valparaíso, al borde del mar, con una topografía natural bastante más matizada y con menor densidad de ocupación, aprovecha de una ventilación más vigorosa que elimina muchas probabilidades de degradación ambiental y, al mismo tiempo, impide el surgimiento de los caracteres que se han llegado a estimar corrientes en la climatología de las grandes ciudades.

Agréguese a esto la influencia ya sugerida de las condiciones meteorológicas de mediana y gran escala y concluiremos -como se reiterará más adelante- en la necesidad de apoyar las investigaciones de los climas urbanos sobre estudios más amplios que completen un marco de referencias geográficas cuya elaboración requiere un serio y sostenido trabajo interdisciplinario.

### 3. PLANIFICACION URBANO-REGIONAL E INVESTIGACION CLIMATOLOGICA:

La planificación del espacio geográfico requiere -en función de lo señalado recién- de estudios generales de las condiciones ambientales y, en particular, de investigaciones intensivas de las características climáticas locales. Permítasenos recurrir a algunos ejemplos alusivos que conocimos recientemente en Alemania Federal participando incluso, aunque de manera parcial, en alguno de ellos.

En 1965 fue creada la Asociación para la Planificación Regional del Bajo Main (Regionale Planungsgemeinschaft Untermain - RPU), con el propósito de preocuparse de la protección de las condiciones ambientales en la mencionada región, la segunda más densamente poblada de Alemania Federal, después de la cuenca del Ruhr. Los preparativos para realizar dentro de este marco exhaustivas investigaciones del clima y de la higiene del aire comenzaron en 1967 y en 1969 se obtuvieron los recursos (del estado de Hessen y del gobierno federal), para iniciar los trabajos científicos propiamente tales. A partir de 1970 estas labores se han desarrollado ininterrumpidamente contando con la participación -entre otros organismos- del Servicio Meteorológico de Alemania Federal (SMAF); los resultados conseguidos hasta ahora han sido regularmente publicados (RPU, 1970-71-72), previéndose la finalización del proceso completo de estudios para el año 1980.

El papel relevante acordado a las investigaciones del clima y de la higiene del aire por parte de la Asociación mencionada, es justificado de la siguiente manera por Hesler (1972), en una de las publicaciones indicadas de la RPU: "La higiene del aire y el clima son sólo aspectos par -

ciales de la Planificación Regional y deben ser confrontados en cuanto a significación y prioridad a una variedad de otros aspectos. Ellos son, sin embargo, un punto especialmente importante -madurado sólo en los últimos años- para muchos procesos de planificación". Más adelante agrega: "En los informes anteriores se ha planteado a menudo que la contaminación del aire está determinada principalmente por parámetros meteorológicos y orográficos, es decir, a través de las condiciones climáticas de un área. Áreas especialmente críticas son los valles angostos, llanuras o mesetas rodeadas por montañas -las llamadas cuencas-, áreas costeras encerradas por océanos y líneas de alturas, planicies premontañas y otros casos similares. Está, además, involucrada en esta tipificación la extremadamente alta o la extremadamente baja humedad atmosférica. Especialmente en estas áreas -de las cuales son ejemplos Bonn, Ankara, Frankfurt, San Francisco, Los Angeles, Múnich, Turín, Londres- la contaminación del aire se transforma en un problema.

"La localización original de estas ciudades estuvo basada en muchos casos en las favorables condiciones del tráfico -puertos, rutas de navegación, vados, pasos- y todavía hoy esta ubicación prueba ser correcta. Los problemas climáticos deben ser entonces resueltos fundamentalmente por reducción de las emisiones, ya que la localización mencionada no puede cambiarse.

"Sin embargo, para la elección del sitio de nuevas ciudades o partes de ciudades u otras unidades de ocupación, sobre todo a causa de la continuada tendencia a la concentración, las condiciones climáticas deben ser investigadas primeramente. Desde que la selección del lugar de ocupación es tarea de la Planificación Regional o Territorial, ella toma en consideración la influencia directa del grado de contaminación atmosférica en las proyectadas áreas de edificación y asume la responsabilidad de las decisiones correctas o incorrectas a futuro".

El caso particular de la ciudad de Bonn mencionado anteriormente es presentado de la siguiente forma en la introducción de un trabajo de circulación restringida preparado por convenio entre la administración de la ciudad y el SMAF: "El área de la ciudad de Bonn, que a través de la nueva división comunal será substancialmente incrementada, experimentará en los próximos años (a partir de 1971-72) una enérgica transformación por la construcción de numerosos nuevos edificios y por la ampliación de la red de tráfico. Estas modificaciones encierran -para la población que allí vive y trabaja- el peligro de un deterioro del clima, si no se toman en consideración también -además de los puntos de vista económicos, administrativos, de ocupación y de tráfico- las condiciones naturales, en especial la orografía y el clima de la región de Bonn".

Por su parte, el equipo interdisciplinario que estudia las condiciones climáticas y de higiene atmosférica de la ciudad de Friburgo/Br., en la primera parte de un reciente trabajo ("Untersuchung der ...", afirma: "Es propósito de las investigaciones registrar y aclarar las diferencias de las características en el área urbana, determinar con qué magnitud el espacio aéreo sobre Friburgo/Br. está viciado y sugerir las precauciones a tomar en el futuro a fin de mantener la contaminación en el nivel más bajo posible... Los resultados de las investigaciones deben proporcionar ayuda para las decisiones a tomarse sobre el desarrollo de la ciudad y la planificación del uso de sus superficies".

Como se advierte, las hipótesis de trabajo y las finalidades enunciadas para estas investigaciones son similares y dejan en claro la relación entre Climatología y Planificación del Espacio. De todos los ejemplos seleccionados, el más amplio, por la extensión que abarca, es el del Bajo Maipo y allí podemos aludir propiamente a Planificación Regional. En los otros casos es preferible hablar de Planificación Urbana.

Para tener una imagen del esfuerzo que se realiza en el Bajo Maipo en cuanto a obtención de datos, es conveniente saber que sobre una superficie de 1.600 kms<sup>2</sup>. (área de estudio), en la que vivían 1,6 millones de personas en 1970 (densidad aproximada: 990 Hab/Km<sup>2</sup>), estaban en funciones en 1971 los siguientes puntos de medición: 46 estaciones meteorológicas temporales, 3 estaciones meteorológicas principales, 4 estaciones climatológicas principales, 25 estaciones pluviométricas, 2 estaciones para medición de la radiación global y 2 sitios para radisondeos caudales; todo ello bajo la atención del SMAF. Además existían 400 puntos para medición de la eventual contaminación del aire, aunque no todos con mediciones continuas ni completas, a cargo de diversas instituciones (Lamp, 1971).

Frente a este despliegue de recursos y a la nitidez de los propósitos perseguidos en las investigaciones mencionadas a título de ejemplos, es oportuno señalar algunas iniciativas nacionales que, por algunos rasgos, se pueden homologar con aquellas. Además de la realización de las Primeras Jornadas de Contaminación del Ambiente en Chile (marzo de 1972), conviene destacar la importancia del proyecto de estudio de los "Factores Meteorológicos en la Contaminación Atmosférica de Santiago" que realiza el Departamento de Geofísica y Geodesia de la Universidad de Chile (Rutllant, 1973). En el prólogo del trabajo citado, su autor señala sucesivamente las razones que tiene una investigación de esta naturaleza y las limitaciones materiales de la misma: "La contaminación atmosférica de la ciudad de Santiago es un buen ejemplo de cómo factores meteorológicos, geográficos y climatológicos hacen de ella una de las que ostenta, en muchas ocasiones, índices de contaminación superiores al máximo tolerable, sin ser comparable en cuanto a número de habitantes y actividad industrial a otros centros urbanos en los que se presente este problema... En los aspectos meteorológicos de la contaminación atmosférica de Santiago, poco se ha hecho hasta el presente. Una de las razones fundamentales de esta situación es el carácter eminentemente experimental de estos estudios en que se hace necesario determinar en toda la extensión de la cuenca de Santiago parámetros meteorológicos correspondientes a una escala de movimientos atmosféricos mucho menor que aquella para la cual existe una red meteorológica nacional, siendo entonces necesario contar con equipos de medición de características especiales y con personal técnica y científicamente capacitado".

La precisión del diagnóstico, válido para cualquiera otra área del país en que se pudiera estar observando la génesis de un problema similar o se advirtiera la necesidad de una planificación integral del desarrollo urbano, suburbano y rural con la inevitable solicitación de una completa información climato-meteorológica, realza la importancia de la valorización de este tipo de investigaciones y la obligación de programarlas, implementarlas y realizarlas sin demora.

Los alcances hechos a estas experiencias seleccionadas nos mueven a abordar en la última parte de este trabajo algunas técnicas de investigación de los climas urbanos, extensibles asimismo a la generalidad de los climas de paisajes o locales.

#### 4. TECNICAS DE INVESTIGACION DE LOS CLIMAS URBANOS Y LOCALES, EN GENERAL:

Además del uso de distintos tipos de estaciones y puestos meteorológicos fijos, queremos llamar la atención en particular sobre dos técnicas de investigación complementarias de la anterior y entre ellas mismas.

La primera se refiere al uso de la termografía infrarroja. El método está basado en la aplicación de la ley de Stefan-Boltzmann según la cual la energía radiante de un cuerpo negro ideal es directamente proporcional a su temperatura. Mediante un aparato usado desde avión, el Line Scanner infrarrojo, la radiación producida por los diferentes elementos de la superficie del suelo impresiona un negativo fotográfico de tal modo que las variaciones de dicha radiación aparecen como diferencias en la densidad del film. Debido a la interdependencia de las radiaciones de onda larga emitidas y las temperaturas superficiales, estas variaciones de la densidad del film pueden ser claramente interpretadas como diferencias de las temperaturas de superficie (Lorenz, 1972).

Las fotografías infrarrojas se asemejan a las fotografías aéreas normales, pero los contrastes y matices de claro-oscuro o de colores no se deben, entonces, a variaciones en la reflexión de la luz. Su empleo permite tener una información de temperaturas superficiales para una vasta región en la que los valores se miden casi simultáneamente y todo esto mediante una clara representación gráfica.

Un apronte preliminar hecho en este sentido por la RPU en agosto de 1970 seguido de un trabajo más completo de la misma institución en octubre de 1971, y las imágenes tomadas en septiembre de 1973 por el Instituto de Geografía I de la Universidad de Friburgo/Br., muestran con claridad los beneficios que pueden obtenerse de la utilización de la técnica de investigación enunciada. Se requiere, como es natural, la conjugación de ciertas condiciones fundamentales para el empleo de la termografía infrarroja: por un lado, una gran regularidad de vuelo, con un nivel muy estable de desplazamiento del avión y, por otro lado, un tiempo meteorológico adecuado que no interfiera en los procesos de radiación-irradiación que están en la base de la información que se desea registrar. Hay que tener en cuenta, además, que en correspondencia con las bandas del espectro según las cuales se obtiene la termografía infrarroja sólo se miden las temperaturas superficiales de los cuerpos sólidos y líquidos; los cuerpos gaseosos (aire, vapor y similares), son invisibles incluso en caso de grandes contrastes térmicos.

Los tres vuelos hechos sobre el área de Friburgo/Br., en muy buenas condiciones técnicas y meteorológicas, proporcionaron la siguiente información preliminar (según la "Untersuchung der...", ya citada):

- a) poco antes de la salida del sol, es decir, al término del período de irradiación nocturna, las superficies relativamente más calientes corresponden a las napas líquidas, calles y bosques. En cambio, las superficies más frías corresponden a áreas verdes frescas (más o menos

4°C), suelos sin vegetación (más o menos 3°C) y los techos de las casas (de 1,5 a 3°C). En los sectores construidos se puede reconocer la influencia de los elementos específicos integrados en la edificación, tales como calles, muros, jardines, árboles, etc. De esa manera, los distintos estilos y épocas de construcción crean diferencias en el registro termográfico infrarrojo.

- b) A mediodía, o sea, en el momento culminante de la radiación, la imagen es muy contrastada. Las superficies más cálidas son las de los techos y frontis orientados al sur y luego siguen los espacios sin vegetación y de pasto seco. Las áreas de pastos verdes y, sobre todo, los bosques se presentan como los sectores más fríos. Así, según la termografía de medio día, los barrios residenciales de Friburgo/Br., dotados de parques y árboles en calles y jardines, constituyen una parte fresca de la ciudad, en circunstancias que temprano en la mañana se presentaban como relativamente cálidos.
- c) En la tarde, poco después de la caída del sol, al comienzo del período de irradiación nocturna, las más cálidas son las compactas superficies de calles y plazas. Las áreas de árboles son nuevamente más cálidas que el poroso suelo de labranza. Los sectores urbanos de jardines y parques se presentan como térmicamente equilibrados mientras que los barrios nuevos, sin esa forma de vegetación incorporada, muestran contrastes acentuados. Los lugares más fríos son otra vez los techos y las superficies de pasto verde.

En las investigaciones efectuadas en Krankfurt/Main y su periferia, el problema de uso de la termografía infrarroja ha sido enfocado con una complejidad mayor. Se ha pretendido registrar los flujos de aire frío o fresco producidos en los montes Taunus y las colinas premontanas y movilizados hacia la llanura del Main y cuyo rol es muy importante para estudios de higiene del aire: el propósito principal de las mencionadas investigaciones es precisamente determinar la localización y la intensidad de estos flujos.

La posibilidad de usar termografía infrarroja con este objetivo requiere vuelos hechos a cortos intervalos partiendo de la premisa que las diferencias de las temperaturas superficiales pueden ser consideradas también como diferencias de temperaturas para el aire inmediatamente suprayacente. En efecto, si como consecuencia de la irradiación la temperatura de superficie desciende por debajo de la temperatura del aire, éste transfiere calor a la superficie y por lo tanto, su temperatura disminuye. El aire así enfriado sobre una ladera comienza a descender por el valle y es reemplazado por aire más cálido que viene desde arriba el que a su vez transfiere también calor a la superficie. Por esta razón, el enfriamiento de la superficie en valles intermontanos no es tan pronunciado como en aquellos lugares donde el desplazamiento del aire frío es imposible: por ejemplo, en una cuenca en la que no hay incorporación de aire más cálido. En consecuencia, aire y superficie se enfrían cada vez más, siendo más vigoroso el enfriamiento de estas últimas. Hay entonces temperaturas de superficie relativamente bajas en todos aquellos sitios en que el aire está detenido o su flujo es difícil. De la distribución de las temperaturas superficiales deben deducirse las influencias del terreno toda vez que las temperaturas resultantes dependen de la magnitud del calor que ha sido acumulado por el suelo,

de la conductividad térmica de éste y de su cubierta. Si la conductividad térmica es buena, como ocurre en suelo rocoso, la temperatura superficial disminuye menos que en el caso de suelos porosos y mucho menos que en el caso de existir una densa vegetación, de muy baja conductividad térmica. Un rol considerable tiene también el contenido de humedad del suelo. De hecho, el papel de estos factores es mucho más importante en la distribución de las temperaturas superficiales que en la de las temperaturas del aire, lo que no debe hacernos entonces olvidar que la termografía infrarroja no representa a estas últimas sino que a las primeras.

Para las dos experiencias con termografía infrarroja que hemos señalado, debió considerarse la necesidad de apoyo puntual en tierra. En Friburgo/Br. simultáneamente con los vuelos se hicieron mediciones de las temperaturas de distintos tipos de superficies mediante aparatos manuales. En Frankfurt/Main se instalaron estaciones meteorológicas temporales para registrar temperaturas del aire y vientos al mismo tiempo que se tomaban las termografías infrarrojas en cuatro vuelos repartidos en dos días consecutivos. Estos apoyos terrestres son inevitables porque las fotografías térmicas no indican directamente temperaturas, sino que muestran su distribución y graduación: en blanco y negro en el caso de Friburgo/Br. y en colores en el caso de Frankfurt/Main.

Hay que destacar el alto costo de esta técnica, sumada a la necesidad del mencionado apoyo en tierra y de personal especializado para la interpretación correcta de las termografías, a pesar de lo cual su uso es naturalmente recomendable en investigaciones completas, de clima regional, subregional o local.

La segunda técnica que desarrollaremos corresponde al uso de instrumental meteorológico móvil desplazado en vehículos cuyo empleo con este fin ha sido objeto de referencias ya relativamente lejanas en la literatura especializada (por ejemplo, Peppler, 1929). El principio de este tipo de mediciones reside en la necesidad de aclarar el modo de transición de las temperaturas del aire entre estaciones aisladas, aunque ellas mismas puedan constituir ya una red bastante densa (Nübler, 1973). Mediante el uso de un vehículo dotado de aparatos registradores se consigue una imagen bastante completa de la distribución de las temperaturas dentro de un espacio determinado (una ciudad, por ejemplo), aunque con sacrificio de la simultaneidad de la medición. En efecto, el viaje dura un cierto tiempo (no más de dos horas, para evitar correcciones demasiado onerosas), previéndose una velocidad relativamente reducida y muy regular (las mediciones en Friburgo/Br. se han hecho a 35 kms/hora, de tal manera que la inscripción de puntos en la hoja de registro hecha a intervalos de 8 segundos corresponde a distancias parciales de más o menos 60 metros cada vez, siendo la longitud total del recorrido de 55 kms.). Es precaución necesaria para el mejor aprovechamiento de los datos entregados por estos viajes de medición que ellos se efectúan en instantes del día en que las temperaturas no experimentan un muy rápido cambio, tratando al mismo tiempo de cubrir etapas representativas del ciclo diurno de la oscilación térmica: en Friburgo/Br. se han efectuado estos recorridos en el momento del máximo térmico, es decir, entre 13 y 15 horas; en la

tarde, por lo menos una hora después de iniciado el oscurecimiento, y en la mañana, en el período inicial de radiación, en torno a la salida del sol.

Para las mediciones de Friburgo/Br. se ha utilizado además el apoyo de 6 estaciones fijas implementadas con instrumentos registradores convencionales, de las que una da la temperatura de referencia con la cual se diseñan las cartas de isotermas urbanas. Estas cartas no señalan valores térmicos absolutos, sino que las diferencias (positivas o negativas) respecto a la estación de referencia para la que se indica, en todo caso, la temperatura efectiva del aire en un momento dado. La representación cartográfica de estos valores térmicos comparados indica que el centro de la ciudad tiene las más altas temperaturas diurnas desde fines del invierno hasta el verano (lo que no ocurre en otoño ni a comienzos del invierno) y muestra la ocurrencia de temperaturas nocturnas relativamente elevadas en el mismo sector. En general, el centro presenta también la menor variación anual de las temperaturas con respecto al conjunto de la ciudad. El sector oriental de Friburgo/Br. ofrece, por su parte, las condiciones térmicas más favorables, con temperaturas más elevadas que en el centro durante la época fría (otoño e invierno) y más bajas en verano; en el período caluroso hay en este sector un agradable enfriamiento nocturno. En el sector occidental se aprecian condiciones transicionales hacia el clima de campo libre de la llanura del Rin, con gran amplitud diurna de temperaturas a través de todo el año, expresadas en mañanas frías características del sector y particularmente notorias en otoño e invierno. Su nivel térmico es permanentemente más bajo que el del centro y del sector oriental de la ciudad.

Estas mediciones móviles de temperaturas se han hecho mediante el uso de un bus VW que a 70 cms. delante de su frente lleva dos unidades de medición sobre soportes a 0,7 y 2,0 m. de altura. Cada unidad posee un termómetro seco y otro húmedo y un pequeño motor eléctrico que acciona un ventilador que hace pasar permanentemente una corriente de aire por ambos termómetros (principio del psicrómetro de aspiración). Las unidades están conectadas por cables a un inscriptor electrónico ubicado en el interior del vehículo que tiene en movimiento permanente una banda de papel con trama cuya escala expresa grados centígrados y en la que se van marcando puntos cada dos segundos; como son cuatro los termómetros cuyos valores deben inscribirse, para cada uno la secuencia es -como se señaló más arriba- de un punto cada 8 segundos. Durante el viaje van registrándose en cinta magnetofónica algunos elementos de referencia (cruces de calles, ciertos edificios) lo que, coordinado con la inscripción en la banda de papel, permite una ordenación inequívoca de los valores termométricos respecto a determinados lugares del terreno.

Para la fijación del recorrido deben tomarse en consideración algunas condiciones esenciales: atravesar sectores urbanos típicos (centro de la ciudad, barrios de viviendas unifamiliares, etc.), emplear rutas de tráfico favorable para evitar en lo posible atochamientos y un número excesivo de semáforos, pasar varias veces por algunos puntos claves a fin de controlar los cambios generales de temperaturas ocurridos durante el tiempo del viaje. En principio, mientras más densa sea la red de

desplazamiento del vehículo, mejor representadas estarán las temperaturas del área; sin embargo, como el tiempo de medición no es ilimitado, debe prepararse con cuidado la ruta -con sujeción a las sencillas reglas recién enunciadas- a fin que la representación final sea lo más fiel posible de la distribución de las temperaturas locales.

Queda en claro también que, utilizando el instrumental descrito, es posible reconocer la repartición de los valores de humedad relativa del aire, lo que enriquece mucho la imagen climática que pretendemos elaborar.

Los resultados de la campaña de mediciones de temperaturas y humedad atmosférica en Friburgo/Br. muestran, por otro lado, que junto a la influencia de factores más o menos bien caracterizados como son la época del año o el momento del día, la clase de construcciones y la situación topográfica, tiene también un rol de primera importancia el tipo de tiempo atmosférico bajo el cual se hacen las mediciones. Con tiempo inestable o con lluvia o neblina, las diferencias termométricas a través de la ciudad son reducidas y, en cambio, son muy notorias con el tiempo anticiclónico de potente radiación. Lo que nos lleva, necesariamente, a la conclusión que los estudios de climas urbanos requieren también de una base de investigaciones en climatología regional que los apoyen y los complementen para hacerlos más provechosos, dinámicos y reales.

---

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- BERG, H.  
Der Einfluss einer Grossstadt auf Bewölkung, Niederschlag und Wind, in Biokl. Bbl. 10, pp. 65-70; 1943.
- GEORGII, H. W.  
The effects of air pollution on urban climates, in Nota Técnica N° 108 de la OMM, pp. 214-237; 1968 (hay trad. esp. en UR-175, Santiago. DEPUR 1975).
- HESLER, A. v.  
Luftreinhaltung und Regionalplanung, in Informe de Trabajo N° 4 de la RPU, pp. 3-10; 1972.
- KRATZER, P. A.  
Das Stadtklima, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig; 1956.
- LAMP, W.  
Das Messstellennetz, in Informe de Trabajo N° 2 de la RPU, pp. 17-20 1971.
- LANDSBERG, H.E.  
The climate of towns, in Man's role in changing the face of the Earth, Univ. of Chicago Press, pp. 584-606; 1956.
- LORENZ, D.  
Untersuchungen zum Verhalten nächtlicher Kaltluftflüsse am Taunus unter Verwendung von Wärmebildern, in Informe de Trabajo N° 3 de la RPU, pp. 23-51; 1972.
- LOWRY, W.  
The climate of cities, in Scientific American, Vol. 217, N° 2, pp. 15-23; 1967.
- MARR, R. L.  
Geländeklimatische Untersuchung im Raum Südlich von Basel, in Basler Beiträge zur Geographie, Heft 12, Basel; 1970.
- NUBLER, W.  
Zur Methodik geländeklimatischer Messfahrten, com. al seminario sobre Ayudas Metodológicas para Investigaciones Ambientales y Planificación Territorial, Friburgo/Br.; 1973.
- ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL.  
Nota Técnica N° 108 sobre Climas Urbanos, 1968.
- PAFFEN, K. H.  
Ökologische Landschaftsgliederung, in Erdkunde, Bd. 2, Lfg. 1-3, pp. 167-173; 1948.
- PEPPLER, A.  
Das Auto als Hilfsmittel der meteorologischen Forschung, in Das Wetter/Z f. angew. Meteor. 46, pp. 305-308; 1929.
- PEDELABORDE, P.  
Introduction a l'étude scientifique du climat, 2. ed., SEDES, Paris; 1970.

- PEÑA, O.  
Para la comprensión y el uso de algunos conceptos climatológicos, en  
Notas Geográficas N° 4, Valparaíso, 1975
- REGIONALE PLANUNGSGEMEINSCHAFT UNTERMAIN.  
Lufthygienisch-meteorologische Modeluntersuchung in der Region  
Untermain, Informes de Trabajo (4), Frankfurt/Main; 1970-1971-1972.
- RUTLLANT, J.  
Factores meteorológicos en la contaminación atmosférica de Santiago.  
Resultados de las mediciones 71-72, in Public. N° 164 del Departamento  
de Geofísica y Geodesia de la Universidad de Chile, Santiago; 1973.
- SEKIGUTI, T.  
Local climate and city climate, in Proc. of IGU Regional Conference  
in Japan 1957, pp. 188-192.
- Untersuchung der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse der  
Stadt Freiburg i. Br., Informe del Grupo Interdisciplinario de Trabajo,  
Friburgo/Br; 1974.

=====



8-8-1975.  
HZ/gh.