

INTRODUCCION AL ESTUDIO BIOCLIMATICO DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES Y CONURBANO

Roberto M. Quintela, Juan A. Forte Lay, Adrián Troha y Liliana B. Spescha.

Centro de Investigaciones Biometeorológicas, CONICET.

Buenos Aires, República Argentina.

RESUMEN

Se inicia con este trabajo una investigación acerca del clima de la ciudad de Buenos Aires y su conurbano, el análisis del impacto del mismo sobre la vida humana y vegetal y la posible influencia andrógena sobre las características fundamentales del medio ambiente. En esta primera parte del estudio se analizan las condiciones ambientales del verano.

La metodología de trabajo se efectúa tomando en consideración dos fuentes: el estudio estadístico en función de series históricas y datos obtenidos mediante observaciones con equipos móviles. Finalmente se efectúa un análisis comparativo primario de las condiciones estivales en la ciudad y en estaciones del conurbano bonaerense.

ABSTRACT

This survey starts a research work about the climate of the city of Buenos Aires and its urban girdle, the analysis of its impact on human life and vegetation and the possible androgenic influence on basic characteristics of the local environment. In this first part of the survey the summer environmental conditions are analyzed.

The working methodology is developed taking into consideration two data sources: the historical data series, through appropriate statistical treatment, and data obtained through observations made by mobile teams. Finally an elementary comparative analysis of the summer conditions in the city and in observing stations of the Buenos Aires urban girdle was made.

## 1. INTRODUCCION

En la Argentina, Brazol (1949), Quintela y Vasino (1955) y Hoffman y Medina (1970), entre otros, han desarrollado el tema del hombre y su ambiente climático mediante distintos enfoques. Estos investigadores se basaron fundamentalmente, en los trabajos de Bedford (1948), Missenard (1946), Backer (1939), Brunt (1943), Knoche (1932), Knoche y Borzacov (1946), Van Mieghem (1943), Olgay (1960), Carrier (1927), etc.

El estudio bioclimático que se inicia, se concretará solamente a analizar la influencia andrógena sobre el clima de la ciudad de Buenos Aires en verano y las posibles diferencias existentes en los distintos puntos del gran Buenos Aires. El presente trabajo se trata de una introducción al tema y el CIBIOM espera contribuir al logro de una amplia colaboración entre entidades y científicos interesados en el problema.

Las grandes ciudades han producido, a través de su avance edilicio, verdaderos microclimas que, generalmente, difieren sensiblemente de los climas del entorno; incidiendo fundamentalmente en la temperatura, la humedad y el régimen de precipitaciones (Hounan, 1963; Houghton and Iaglou, 1923; WMO, 1970) Este fenómeno ha dado lugar a la denominación de "isla térmica".

La ciudad de Buenos Aires, ha sufrido una evolución edilicia de gran magnitud, especialmente en sus zonas central y norte; sin embargo, se ha dado un fenómeno singular; su población, que se acerca a los 3 millones, practicamente no ha variado según los últimos cuatro censos. Por otra parte, el llamado Gran Buenos Aires ha llegado a los 10 millones de habitantes lo que lo coloca en el octavo lugar entre las aglomeraciones urbanas del mundo.

## 2. METODOLOGIA

Como el trabajo tiene el objetivo de determinar las condiciones ambientales de la ciudad de Buenos Aires en función de elementos climáticos y su modificación probable por acción del hombre, se ha establecido la siguiente metodología: a) Búsqueda y análisis de antecedentes. b) Estudio estadístico en función de series históricas (muy escasas por el momento). c) Observaciones meteorológicas de campo (estaciones móviles). d) Análisis comparativo de observaciones de estaciones del Gran Buenos Aires y estaciones móviles.

En razón de las posibilidades limitadas, en cuanto a disponibilidad de información, instrumental, etc., se ha decidido iniciar este estudio con valores

de temperaturas del termómetro seco y húmedo, precipitación, velocidad y dirección del viento para el período de verano; extendido de noviembre a marzo.

Se presenta aquí un resumen del trabajo efectuado.

### 3. ANTECEDENTES TECNICOS (TEORICOS Y OBSERVACIONALES)

Las áreas centrales de la ciudad se calientan más que el conurbano. La influencia de la ciudad es mayor cuando en el tipo de tiempo predomina la radiación, especialmente en verano y es menor durante el invierno. Sin embargo en la ciudad de Buenos Aires existen en invierno contrastes muy marcados de la temperatura entre las zonas urbana y rural, como resultado de fuertes inversiones en la temperatura superficial ( $>5^{\circ}\text{C}$  en invierno). Bajo estas condiciones, el enfriamiento en la noche es menor en la zona urbana que en los suburbios, debido a la absorción y re-radiación de energía desde las superficies urbanas por las capas elevadas de aire contaminado (esto es válido también para el verano).

Como resultado de la "isla térmica" sobre la ciudad hay, también, una marcada reducción en la ocurrencia de heladas en el centro de la misma. El número medio de heladas se reduce de 70 por año en áreas rurales a 40 por año en los suburbios y prácticamente no ocurren en el centro de la ciudad. También se detectan efectos sobre la precipitación. Los factores siguientes inducen cambios en la precipitación (Landsberg, 1956): a) la ciudad provee abundantes cantidades de núcleos de condensación y de congelación, como resultado de la contaminación. b) la turbulencia del aire aumenta debido a la rugosidad de las superficies urbanas. c) la convección térmica aumenta por los contrastes de temperatura urbana-rural.

No es posible decidir cual de los efectos mencionados juega el rol más importante. Como en verano la capa de aire caliente se mueve sobre la ciudad, recibe energía adicional debida al alto valor del calor de absorción de los materiales urbanos, observándose como consecuencia un refuerzo de la convección sobre el área capitalina. Cuando el aire fluye sobre el área urbana, la turbulencia del aire agregada a las altas temperaturas urbanas y el subsecuente desarrollo de los cúmulos, conducirían a una abundante precipitación sobre la ciudad. Conviene señalar, sin embargo, que no todos los investigadores están de acuerdo con las conclusiones anteriores.

### 4. APLICACIONES AL GRAN BUENOS AIRES. ANALISIS ESTADISTICO

#### 4.1 Generalidades

Las causas probables del microclima de ciudad parecen ser las siguientes (Landsberg, 1975): a) incremento de la rugosidad del terreno (efecto orográfico) especialmente debido a las grandes masas de edificios y como consecuen-

cia, incremento de la turbulencia del viento. b) reemplazo del suelo natural por materiales impermeables y por techos con sistemas de drenaje, que disminuyen la evaporación. c) modificación de las constantes físicas del suelo; disminuye el albedo y aumenta la conductividad térmica, con lo que se altera el balance de radiación. d) la gran masa de la ciudad, está sujeta a cambios importantes por acción de la sombra y de los rayos solares, en forma intermitente y esto altera las características térmicas de las capas más bajas. e) existe un aumento de la convección, lo que produce nubosidad y aumento de las lluvias. En las ciudades costeras como Buenos Aires, la brisa de mar (o río) condiciona el proceso. f) el efecto de las actividades humanas produce un aumento de la energía calórica que directa o indirectamente afecta a la atmósfera baja.

#### 4.2 Temperatura

Desde el punto de vista bioclimático, el régimen de temperaturas, por sí solo, no es representativo del bienestar o del discomfort que experimentan los habitantes de una gran ciudad. Los máximos absolutos superiores a la temperatura de la piel (33°C) son escasos en Buenos Aires, donde las sensaciones de discomfort en verano por el régimen de temperaturas se deben a: a) persistencia de temperaturas altas por varias horas, aún las de la noche. b) temperaturas mínimas muy altas. c) persistencia de situaciones meteorológicas "de bloqueo" por el centro de alta presión del Atlántico que impide el avance de los frentes fríos del sudoeste. d) veranos muy prolongados (noviembre a marzo).

Para caracterizar el régimen térmico de la Ciudad de Buenos Aires; Quintela y Vasino (1955) adoptaron el criterio (derivado de las pautas básicas para aire acondicionado) de establecer la frecuencia de las temperaturas del termómetro seco mayores o iguales de 30 °C y del punto de rocío mayores de 20°C. En ese trabajo, los autores mencionados analizaron el período 1931-50 y su finalidad principal fue determinar las condiciones básicas externas de diseño para instalaciones de aire acondicionado.

Posteriormente, Quintela (1978) con un propósito distinto, de orden climatológico, extendió el estudio para el período 1931-75 y en este trabajo se lo prolonga hasta 1984. (Fig. 1 y 2).

Basado en un criterio de persistencia de temperaturas altas, puede considerarse una tentativa de clasificación de veranos de características distintas adoptando una escala cuyos límites estarían definidos por el desvío típico (Fig. 6). Para el record estudiado; desde 1931 a 1984 (54 años) resultan: 21 veranos normales, 6 veranos calurosos, 11 veranos muy calurosos, 9 veranos frescos, 7 veranos muy frescos.

Hay que tener en cuenta que, cuando hablamos de veranos normales, implícita-

mente nos estamos refiriendo a períodos estivales muy calurosos (desde el punto de vista del confort humano) (Fig. 3). En consecuencia esta clasificación tiene un valor relativo; lo real es que en la ciudad de Buenos Aires hay pocos días en verano (20%) en que las condiciones de confort sean convenientes para el ser humano.

#### 4.3 Humedad

La humedad es un elemento decisivo para caracterizar la incomodidad que causa, a gran proporción de sus habitantes, el clima de Buenos Aires. Los indicadores de la humedad, ya sea el punto de rocío o la temperatura del bulbo húmedo, se mantienen por arriba de un umbral de tolerancia durante muchas horas. Aquí juegan un papel preponderante el río de la Plata, enorme fuente de producción de vapor y la persistencia de vientos del sector E-y NE, en capas bajas portadores de masas de aire calientes y húmedas.

Dentro del período investigado la temperatura de rocío una vez (1974) fue mayor de 27°C. Se advierte que la temperatura del punto de rocío es en verano, casi siempre, muy elevada en Buenos Aires. En el 15% de las horas excede los 20°C y en el 7,6% está por sobre los 21°C. En febrero de 1984, mes que fue excepcionalmente húmedo, la media mensual alcanzó a 19,0 °C y en varias horas de dicho mes se determinaron valores de hasta 26,0°C.

#### 4.4 Estudio de tendencias

Se analizaron las series de temperaturas máximas y mínimas medias mensuales para el período 1949-1983 de los meses de noviembre a marzo en el Observatorio Central de Buenos Aires.

Con los valores diarios de temperaturas máximas y mínimas se obtuvieron las series de valores mensuales, las cuales fueron docimadas para determinar su homogeneidad (en forma preliminar dado el escaso tiempo disponible) mediante la aplicación del test de corridas por arriba y abajo de la media aritmética. Los resultados fueron aceptables.

Se realizaron luego los promedios móviles de 5 años y el ajuste lineal de las series.

Puede observarse aún a simple vista, una tendencia positiva en la serie de temperaturas mínimas mensuales, de 0,04°C de incremento anual para los meses citados.

Para el caso de las máximas medias mensuales la situación es distinta, ya que no existe una tendencia bien definida. Los meses de Noviembre, Enero, Febrero y Marzo denotan una disminución del orden de 0,02 a 0,03°C anual, pero

en el mes de Diciembre se observa un leve incremento en el mismo período.

En la Fig. 4 se pueden observar los promedios móviles y el ajuste lineal para las dos series integrando todos los meses analizados.

Un análisis similar se realizó para la estación Morón situada en el W del Gran Buenos Aires, para el período 1957-1981, obteniéndose iguales resultados (Fig. 9).

Cabe destacarse que comparando ambas localidades puede observarse una misma tendencia y valores muy semejantes para las temperaturas máximas medias, pero no ocurre esto con las temperaturas mínimas medias, que si bien presentan tendencia semejante, los valores son inferiores en algo más de 1°C en la localidad de Morón.

## 5. ENSAYO DE APLICACION DE INDICES DE BIENESTAR (O CONFORT)

### 5.1 Generalidades

Los índices de bienestar (en especial para microclimas interiores) y las clasificaciones antropoclimáticas (para espacios abiertos) son numerosos, pero dado lo complejo de la interacción hombre-clima son de aplicación parcial y, a veces, controvertida.

Los más conocidos han sido citados por Quintela y Vasino (1955) y fueron aplicados en algunas experiencias efectuadas en la Facultad de Ingeniería (Quintela, Schimitt y Ferrari, inédito).

Para estudios bioclimáticos en la Argentina se han aplicado la temperatura equivalente, la clasificación de Koppen y el climatograma de Knoche (Knoche y Borzacov, 1947), la entalpía (Brazol, 1954), el índice de Thornthwaite (Burgos y Vidal, 1951) y el índice de Olgyay (Hoffmann y Medina, 1970).

En este trabajo se ensaya un nuevo índice que se denominará IBC (índice bioclimático CIBIOM), que consiste en una relación lineal empírica dada por:

$$IBC = (1,4 T + 0,3 U - 0,4 \Delta T) - X$$

donde T = temperatura del termómetro seco, U = humedad relativa,  $\Delta T$  = amplitud térmica diaria y X = nubosidad.

Se adopta para X una escala arbitraria: (cubierto = 2; nublado = 1 y despejado = 0). Se eligieron los parámetros que intervienen en la fórmula, por ser los que habitualmente reproduce la prensa diariamente.

Los resultados obtenidos hasta ahora son los siguientes: a) la gran mayoría de las personas consultadas coinciden subjetivamente con la sensación de confort dada por la escala IBC calculada diariamente según:

IBC < 40 : fresco (F); 40-44 : bienestar (B); 45-49 : caluroso (C); 50-53 : muy caluroso (MC) y > 53 : calor sofocante (CS).

El coeficiente de correlación simple entre el IBC y otros índices, da los siguientes valores (por ejemplo, enero 1984): con  $T_{\text{hum}}$ :  $r = 0.93$ ; con  $e$ ,  $r = 0.91$ ; con  $T_{\text{rocio}}$ ,  $r = 0.95$ ; con  $T_{\text{max}}$ ,  $r = 0.74$ ; con  $T_{\text{min}}$ ,  $r = 0.77$ ; con  $TE$ ,  $r = 0.88$

Estos resultados se repiten, salvo pequeñas diferencias, para los otros meses estudiados. c) con la temperatura efectiva, a pesar del coeficiente alto, aparecen valores diarios aislados que no concuerdan. d) la temperatura equivalente ( $\sim T = 2e$ ) abre una gama demasiado extensa y pierde eficacia por tal motivo. e) el IBC no resulta conveniente aplicarlo en días lluviosos porque en esos casos la HR se mantiene muy alta y el IBC exagera la sensación térmica de discomfort. f) parece justificado considerar como bueno el resultado obtenido con el IBC y se estima conveniente mantenerlo en experimentación, especialmente para decidir su aplicación más amplia (temporal y espacial) o aplicar alguna modificación.

Cabe aclarar que los coeficientes se han obtenido por ajuste empírico, en función de sensaciones subjetivas. Se estima que cuando se logre mayor grado de experimentación (por ejemplo, en cámaras microclimáticas) se justificará un ajuste por métodos matemáticos.

## 5.2 Verano 1983-84

En Noviembre de 1983 el CIBIOM decidió iniciar el estudio del tema, realizando (paralelamente al análisis de las series históricas) un plan de observaciones simultáneas con estaciones móviles y además aplicando algunos índices de confort para el período comprendido entre Noviembre 1983 y Marzo 1984.

Se aprecia que los resultados obtenidos permiten establecer algunas conclusiones, por supuesto provisionarias y que serán perfeccionadas en el futuro. Para ello se precisa complementar un amplio plan de colaboración con otros institutos y servicios.

## 6. CARACTERISTICAS METEOROLOGICAS DEL VERANO 1983-84.

En las Fig. 5, 7, 8 y 10 se resumen algunas de las características del período estudiado:

- 6.1 La amplitud térmica diaria fué (como es normal) relativamente pequeña, especialmente en Aeroparque y O.C. Buenos Aires. En Ezeiza y El Palomar tiende a aumentar la amplitud, por estar más alejadas del río de la Plata y estar menos sometidas al calentamiento nocturno que eleva las temperaturas mínimas de la ciudad (Fig. 4).
- 6.2 La frecuencia porcentual de la humedad relativa horaria muestra humedades muy altas ( $>70\%$ ) en gran parte de las horas, lo que se acentúa en Aero-

parque. Se evidencian las nieblas matutinas en Ezeiza, lo que determina el aumento del número de horas con HR  $\geq$  90%.

6.3 Las sensaciones de confort (en base al Índice Bioclimático CIBIOM) revelan que el 80% de los días el clima de Buenos Aires es de desconfort, para una gran parte de los encuestados. Cabe señalar que el verano 1983-84 fue normal, desde el punto de vista de las temperaturas  $\geq$  30°C y muy húmedo teniendo en cuenta el punto de rocío  $\geq$  20°C. (Fig. 7 y 8).

6.4 La Fig. 8 muestra claramente la longitud del verano. Ya en Noviembre hubo 16 días calurosos, los que van aumentando mes a mes hasta un máximo en Febrero de 10 días con calor sofocante, 10 días muy calurosos, 6 calurosos y solo 3 de bienestar.

6.5 La Fig. 10 muestra sobre un diagrama de confort (psicrométrico) un día de características meteorológicas estivales. Se advierte en la mayor parte de los días que el trazado T-U cae muy alejado de la zona de confort.

6.6 Observaciones de campo efectuadas en el verano 1983-84.

Fué un verano normal, en función de los valores horarios de temperatura, y húmedo si se tienen en cuenta los puntos de rocío. Estas consideraciones han sido confirmadas en los relevamientos efectuados por el CIBIOM en el período estival Noviembre 1983 a Marzo 1984.

De los resultados obtenidos hasta el momento se puede inferir que:

a) No son comparables las observaciones efectuadas en el O.C. Buenos Aires y las estaciones Aeroparque y Ezeiza, con psicrómetro no ventilado y en abrigo, con las obtenidas por el CIBIOM al aire libre con psicrómetros de aspiración tipo Assmann.

b) En las horas de máxima temperatura no se observaron en el centro de la ciudad valores muy superiores a los de otros puntos de la misma.

c) En transectas realizadas en un tiempo menor a una hora, se han observado valores crecientes de temperatura desde unos 50 Km del centro hasta los lugares abiertos dentro de la Capital, de más de 2°C, especialmente en las últimas horas de la tarde.

d) Las observaciones efectuadas en el patio del edificio en que está instalado el CIBIOM (Serrano 669, Capital Federal) con dos psicrómetros de aspiración, han mostrado que la temperatura del termómetro seco está fuertemente influida por microcorrientes de aire de naturaleza turbulenta, que hacen oscilar dicho valor en  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

e) Se han detectado algunas "islas de calor" internas, como la de plaza

Arenales (Villa Devoto), donde se han observado, sistemáticamente, valores mayores en 1°C (aproximadamente) que los registrados en Serrano 669 y en el Parque Centenario con el mismo instrumental.

#### 7. CONCLUSIONES PRELIMINARES

Salvo las anomalías mencionadas, el bioclima estival de Buenos Aires, en esta primera etapa se comportó del siguiente modo:

- a) A la hora en que se produce la temperatura máxima, hay una tendencia a que las temperaturas sean relativamente similares en los distintos barrios ( $\pm 1^\circ\text{C}$ )
- b) Las temperaturas en la zona central de Buenos Aires con respecto a las de los alrededores tienden a ser mayores, por efecto de un menor enfriamiento de la zona densamente edificada, en las horas previas al ocaso y durante la noche
- c) La sensación térmica en la zona central es más desfavorable para los seres humanos por efecto de la radiación reflejada por los edificios y pavimentos, la ausencia de corrientes de aire libre (se produce "viento encajonado"), mayor polución, mayor cantidad de calor transferido y de gases emitidos por automotores, aparatos de aire acondicionado, etc.
- d) Hay que intensificar los estudios comparativos entre estaciones, tratando de "filtrar" las series y mejorar el instrumental para mediciones isocronas.
- e) Hay que poner especial énfasis en la determinación de la humedad, con instrumental de precisión y observaciones de altura, para estudiar inversiones.

#### 8. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Señor Director General del Servicio Meteorológico Nacional por la provisión al CIBIOM de la información básica utilizada y a la Lic. Sta. Silvia Nuñez por sus valiosas sugerencias y críticas constructivas.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. American Society of Heating and Vent. Engineers Heating, Ventilating Air Conditioning Guide. New York, 1960.
2. Atkinson B.W. The effect of an urban area on the precipitation from a moving thunderstorm. Journal of applied meteorology. Vol. 10. (1971).
3. Bornstein R.D. Observations of the urban heat island effect in New York City Journal of applied meteorology (1968).
4. Brazol D. El climograma termodinámico. Círculo de Aeronáutica Buenos Aires (1949).
5. Brazol D. Bosquejo bioclimático de la República Argentina. Meteoros IV (4), 1954.
6. Burgos J.J. Clima de la provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación natural y el suelo INTA (suelos), Pub. N°128, Buenos Aires, 1971.
7. Cinturón Ecológico Area Metropolitana. Estudio climatológico de la zona costera del río de la Plata. Buenos Aires 1980.
8. Changnon S.A. Recent studies of urban effects on precipitation in the United States. Bull. Amer. Meteor. Society. Vol 50 (1969).
9. Geiger R. The climate near the ground. Harvard University, Cambridge, Mass U.S.A., 1965.
10. Huntington E. Civilization and climate. New York, 1935.
11. Hoffmann. Frentes, masas de aire y precipitaciones en la Argentina. Meteorológica, Vol II, N°1, 2 y 3.
12. Huff F.A. and Changnon S.A. Precipitation modification by major urban areas. Bull. Amer. Meteor. Society. Vol 54 N°12 (1973).
13. Hounan C.E. Meteorological factors affecting physical confort. Int. J. Biometeor. Vol 11 N°2 (1967).
14. Jauregui E. Anthropogenic effect on the urban climate of a large latinamerican metropolis. Report of the meeting of experts on Urban and Building Climatology. Geneve 1982.
15. Landsberg H. The climate of towns in Man's role in changing the face of the earth. Chicago 1956.
16. Missenard A. L'homme et le climat. Paris. 1937.
17. Quintela R.M,y Vasino C.J. Bases de la climatización artificial en Buenos Aires. Meteoros V (4), 1955.











