

# Clima y cambio climático

*Inés A. Camilloni*

La atmósfera terrestre es una delgada capa de gases que envuelve a la Tierra y su presencia es esencial para el desarrollo de la vida. Está compuesta principalmente por nitrógeno, oxígeno molecular ( $O_2$ ) y pequeñas cantidades de otros gases, como vapor de agua y dióxido de carbono ( $CO_2$ ). El  $O_2$  y el  $CO_2$  permiten la realización de funciones vitales de animales y plantas, mientras que el  $CO_2$ , el vapor de agua y otros gases menos abundantes, como el metano y el ozono, contribuyen al calentamiento del aire próximo al suelo a través del efecto invernadero. La atmósfera permite que penetre la radiación solar que calienta la superficie terrestre y, a su vez, retarda la velocidad con que es devuelto el calor que emite la superficie calentada. Sin el efecto invernadero, el calor que la superficie terrestre gana durante el día se perdería en su totalidad y la temperatura promedio de la superficie sería de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o sea, bastante más fría que el valor promedio registrado de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

El interés por conocer el comportamiento de la atmósfera es probablemente tan antiguo como la historia de la humanidad. Existen muy pocos aspectos del ambiente físico que afecten a la vida diaria de las personas en mayor grado que los fenómenos vinculados con el tiempo. La elección de la vestimenta y la planificación de las actividades cotidianas están fuertemente influenciadas por él. Pero, además de las decisiones personales que se toman diariamente en función del tiempo, se han adoptado y continuarán adoptándose numerosas decisiones políticas que involucran a la atmósfera.

Las respuestas ante la contaminación atmosférica y su control, el cambio climático y sus efectos sobre la salud, la ocurrencia de sequías prolongadas, la producción de alimentos, el posible desplazamiento de personas, etc. son cuestiones fundamentales para la planificación del desarrollo. En consecuencia, se verifica una creciente demanda de información climática, tanto en el ámbito del Estado para la formulación de políticas públicas y diseño de acciones y programas, como en ámbitos no gubernamentales sensibles a los cambios que afectan a la atmósfera.

Las características de la superficie terrestre son decisivas para establecer las propiedades de la atmósfera próxima al suelo. En particular, los procesos de urbanización e industrialización dan lugar a uno de los cambios de origen antrópico más significativos que pueden ocurrir sobre un ecosistema al convertir el ambiente natural –usualmente vegetación y superficies permeables– en un paisaje construido con la incorporación de materiales diversos, como asfalto, cemento y hormigón. El reemplazo de las superficies naturales más la emisión de calor y contaminantes que tiene lugar en el medio urbano producen importantes modificaciones de las características de su atmósfera y superficie terrestre, mediante la transformación de sus propiedades radiactivas, hídricas y dinámicas.

En este capítulo se analizan los valores de diferentes variables meteorológicas, como la temperatura, la humedad, la precipitación, la nubosidad y el viento, medidos en el ámbito de la Ciudad de Buenos Aires. Asimismo, se presta atención a las variaciones observadas en la temperatura, el viento y la precipitación ocurridas durante las últimas décadas y se analizan las perspectivas futuras del cambio climático, considerando diferentes “escenarios” de emisión de gases de invernadero. Es importante dejar sentado que, en las distintas secciones que componen el capítulo, los análisis se realizan para diferentes períodos de tiempo, indicados en cada caso, y que en las comparaciones se utiliza la información oficial más reciente de las dos estaciones meteorológicas ubicadas en el ámbito de la Ciudad y los registros más extensos disponibles sobre algunos parámetros relevantes de la atmósfera.

## Climatología

El clima es frecuentemente definido como un *tiempo medio*, es decir, como el conjunto de condiciones normales que dominan una región obtenidas mediante el cálculo de promedios de una serie de observaciones, durante un cierto período. Sin embargo, las variaciones de las condiciones extremas del tiempo en esos lugares son también datos relevantes para caracterizar el clima. Sintetizando, el clima de un lugar determinado es el conjunto de información estadística sobre el tiempo relevado en ese lugar.

La Ciudad de Buenos Aires está emplazada en una región con clima húmedo subtropical, con inviernos en que las precipitaciones son escasas y con una estación cálida prolongada. Las características climáticas de la región están dominadas por el centro anticiclónico semipermanente del Atlántico Sur que provoca que los vientos más frecuentes sean los que provienen del cuadrante N-E. Durante el invierno se producen irrupciones de sistemas frontales, principales responsables de la precipitación en la región durante esa época del año. Entre el otoño y la primavera se producen ciclogénesis, generalmente al norte de la Ciudad, que pueden afectar al Río de la Plata y causar vientos intensos del sector Sur-Sudeste, ocasionando crecidas e inundaciones en la zona ribereña (Camilloni y Barros, 2007).

Con el objeto de realizar una descripción cuantitativa de las características climáticas de la Ciudad de Buenos Aires se considera, como ya se señaló, información meteorológica de dos estaciones, Aeroparque Aero (34°34' S, 58°25' O) y Observatorio Central Buenos Aires (34°35' S, 58°29' O), pertenecientes a la red observacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Si bien ambas estaciones están próximas una de otra, sus registros muestran diferencias debido a su posición relativa dentro de la Ciudad. Aeroparque Aero está emplazada junto al Río de la Plata que, en algunas horas del día y en ciertas épocas del año, influencia ciertas variables meteorológicas, mientras que el Observatorio Central Buenos Aires se ubica en una zona más céntrica de la Ciudad y releva de manera más concluyente los impactos que sobre la atmósfera produce el ambiente construido. La información climática analizada corresponde a promedios mensuales de un conjunto de variables atmosféricas del período 1991-2000. Esta década fue seleccionada por constituir la estadística oficial más reciente que elaboró el SMN.

## Valores medios

### Temperatura

En el Gráfico 1 se presentan las marchas medias anuales correspondientes a las temperaturas medias y máximas y mínimas medias, mensuales, en las estaciones meteorológicas emplazadas en el ámbito de la Ciudad. En ambos casos, las máximas se registran en enero y las mínimas en julio. La amplitud térmica media anual, definida como la diferencia entre las máximas y mínimas medias mensuales, fue de 13,8 °C en el Observatorio Central Buenos Aires y de 13,1 °C en Aeroparque Aero. En esta última estación, se evidencia el efecto moderador de la temperatura que ejerce el Río de la Plata, ya que muestra una menor amplitud térmica anual con respecto a la estación Observatorio Central Buenos Aires ubicada a mayor distancia de la costa. Este efecto se manifiesta a través de una menor temperatura media en los meses estivales, como consecuencia de la brisa proveniente del río, y de una mayor temperatura en el invierno. Con respecto a las temperaturas medias anuales, ambas estaciones presentan valores similares: 17,9 °C en el Observatorio Central Buenos Aires y 17,8 °C en Aeroparque Aero.

Las temperaturas máximas medias y mínimas medias tienen, en las dos estaciones meteorológicas, una marcha anual con máximos en enero y mínimos en julio. Debido al comentado efecto del Río de la Plata, la estación Aeroparque Aero muestra valores más bajos en la máxima y valores más altos en la mínima en todos los meses: los valores medios anuales son de 22,7 °C para la temperatura máxima y de 13,7 °C para la temperatura mínima en el Observatorio Central Buenos Aires y de 21,2 °C y 14,6 °C respectivamente en Aeroparque Aero.

### Humedad relativa

En términos generales, la humedad es la cantidad de agua en estado gaseoso presente en el aire. Para cada temperatura hay una cantidad máxima de agua que puede permanecer en forma de vapor; esta cantidad aumenta con la temperatura. Si ingresara más vapor de agua al aire que el que este puede almacenar, el vapor condensaría formando agua líquida. La humedad relativa es la comparación entre la humedad que existe en un determinado momento y la máxima que podría haber a la temperatura en la que se encuentra el aire. Cuando el aire está tan húmedo que no se puede incorporar más vapor de agua, se dice que está saturado y en esas condiciones la hu-

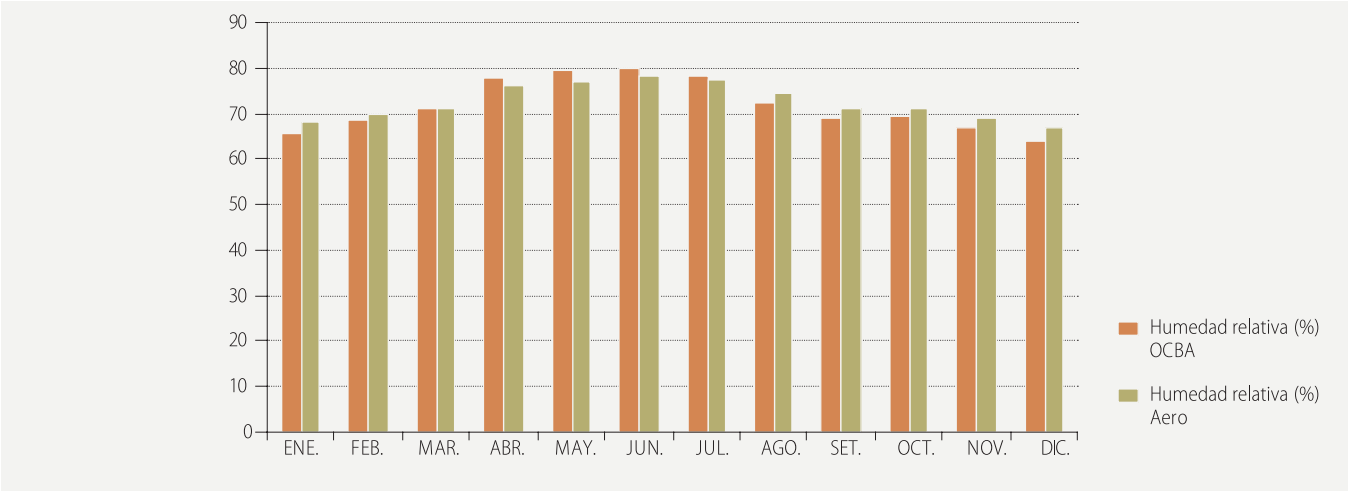
**Gráfico 1**      **Temperaturas medias, máximas medias y mínimas medias mensuales en grados centígrados. Ciudad de Buenos Aires. Período 1991-2000**



Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

medad relativa es del 100%. Por lo tanto, la humedad relativa da una idea de la cercanía de la saturación en que se encuentra el aire en un cierto lugar y momento, pero no mide la cantidad de vapor de agua existente.

**Gráfico 2** Evolución de la humedad relativa media mensual en porcentaje. Ciudad de Buenos Aires. Período 1991-2000

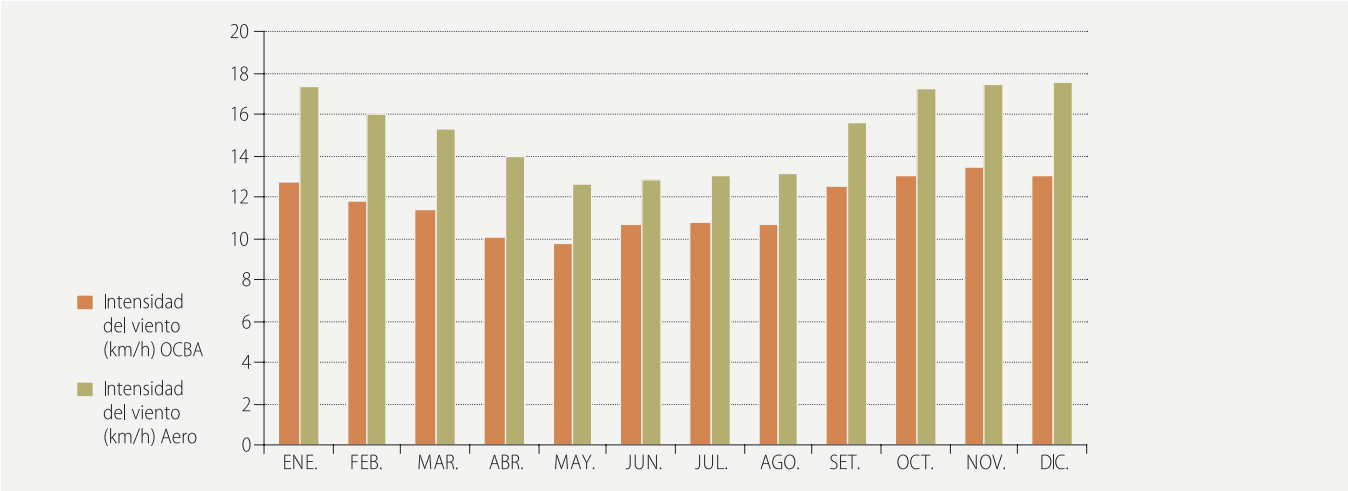


Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

En el Gráfico 2 se presenta la evolución de la humedad relativa media mensual. Se encuentra que los valores más altos se registran durante los meses de invierno, mientras que los más bajos corresponden a los meses más cálidos. Esto se debe a que cuanto mayor es la temperatura del aire, mayor es su capacidad de albergar vapor de agua y, por lo tanto, más lejos se encuentra la atmósfera de alcanzar la saturación –y recíprocamente–. La humedad relativa media anual es de 71,9% en el Observatorio Central Buenos Aires y de 72,5% en Aeroparque Aero.

Es importante destacar que la humedad es uno de los elementos que sufre modificaciones significativas en las áreas urbanas en comparación con el ambiente suburbano o rural próximo. La impermeabilización del suelo de las ciudades, a través de las edificaciones y del pavimento de las calles, hace que el escurrimiento del agua precipitada sea más rápido. Asimismo, la evapotranspiración es escasa porque hay reducida superficie natural con vegetación. En consecuencia, la humedad relativa es por lo general más baja en la Ciudad que en el área rural. En promedio, se reduce un 5%, pero en noches despejadas y con viento en calma la reducción puede ser de entre el 20 y el 30 por ciento.

**Gráfico 3**      **Velocidad del viento, media mensual en kilómetros por hora. Ciudad de Buenos Aires.**  
**Período 1991-2000**

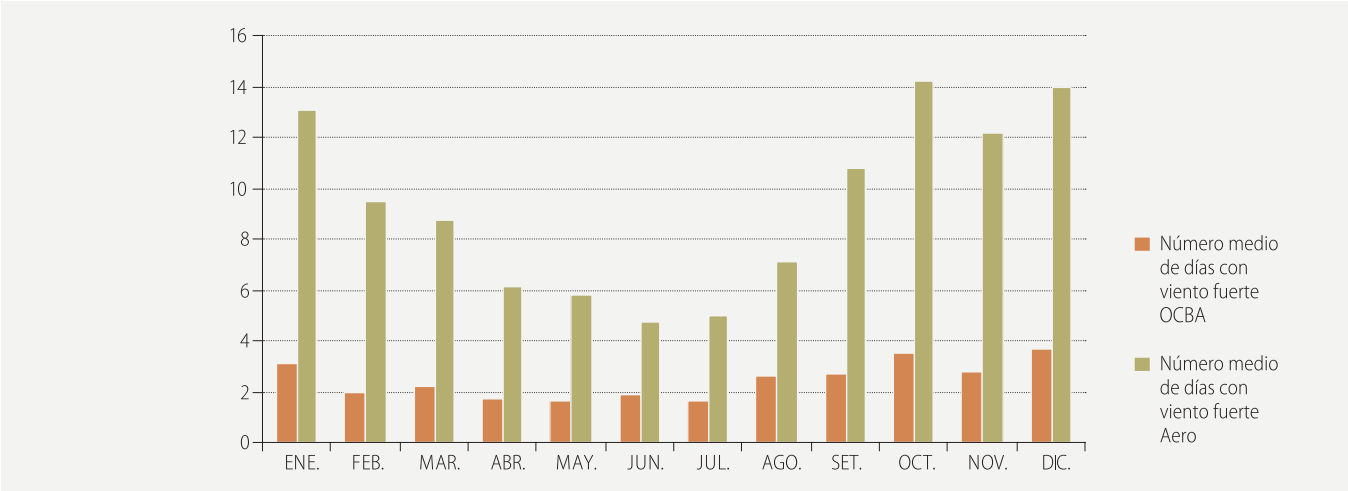


*Fuente:* Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

**Viento**

En el Gráfico 3 se presentan las velocidades medias mensuales del viento en las dos estaciones referidas. En ambos casos, las mayores velocidades se observan durante el verano y las menores en invierno. Sin embargo, la estación Aeroparque tiene velocidades del viento más altas debido a su proximidad al Río de la Plata, mientras que la rugosidad de la superficie edificada de la Ciudad y el consecuente rozamiento del aire con ella producen una disminución de la velocidad del viento medida en el Observatorio Central Buenos Aires. Las direcciones más frecuentes del viento corresponden al sector Noreste (NE) en la estación Observatorio Central Buenos Aires, en tanto que la dirección predominante en Aeroparque Aero es Este (E). En los meses estivales las direcciones más frecuentes corresponden al sector NE-E, favoreciendo el ingreso de masas de aire cálido de origen subtropical, mientras que en el invierno aumentan las frecuencias correspondientes al cuadrante S-O, acompañando la irrupción de frentes fríos en la Ciudad. Asimismo, es significativa la diferencia entre las calmas en ambas estaciones: 17,5% en el Observatorio Central Buenos Aires y solo 3,9% en Aeroparque Aero debido a la frecuente presencia de brisa en la región costera del Río de la Plata.

**Gráfico 4**      **Número medio mensual de días con viento fuerte. Ciudad de Buenos Aires.**  
**Período 1991-2000**



*Fuente:* Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

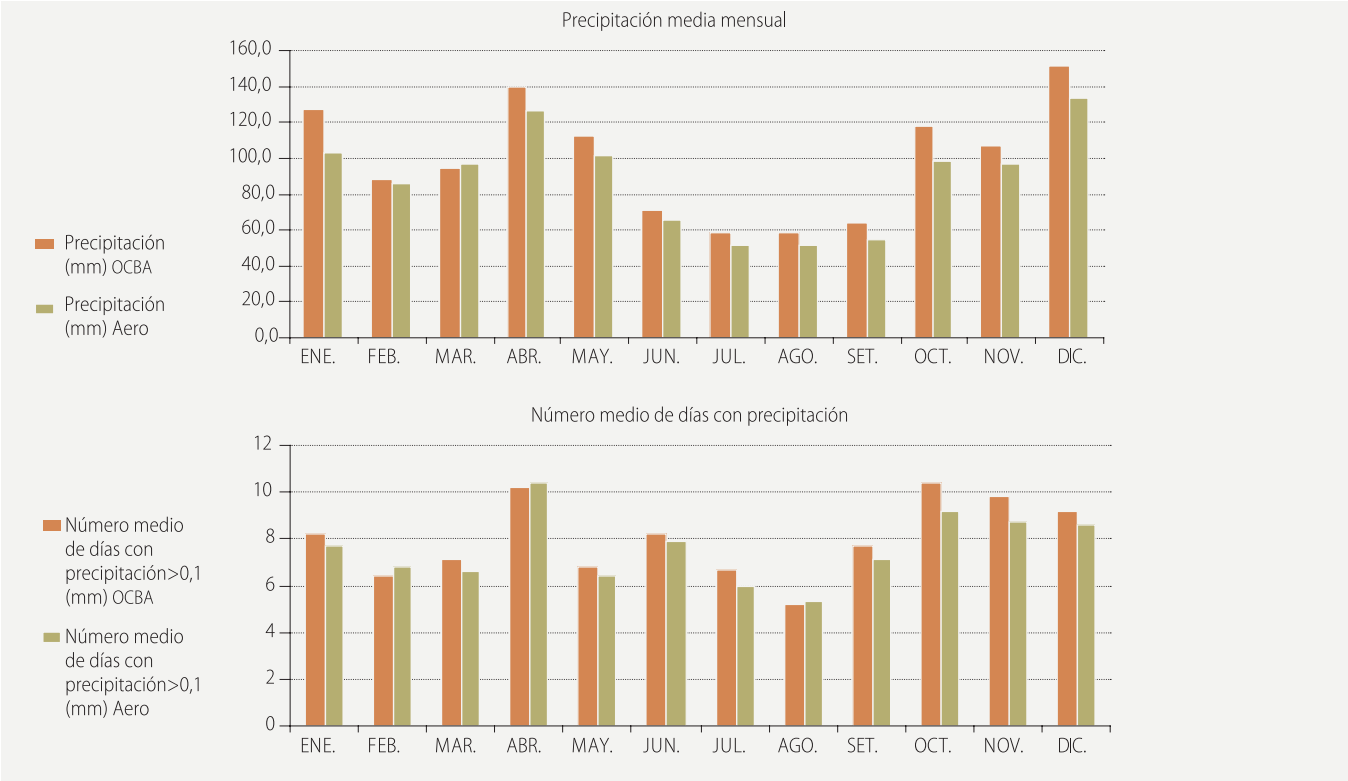
Se define como viento fuerte al que supera los 43 kilómetros por hora. En el Gráfico 4 se indica el número medio mensual de días con viento fuerte. Se observa que la primavera y el verano son las estaciones del año en las que se registran mayor cantidad de días con viento fuerte. La estación Observatorio Central Buenos Aires es la que tiene menor cantidad de días que cumplen esta condición, debido a su emplazamiento en un ambiente predominantemente construido.

**Precipitación**

La precipitación es también una de las variables climáticas que sufre modificaciones significativas en ambientes urbanos. En general, la lluvia acumulada es entre 5 y 10% mayor en la Ciudad de Buenos Aires que en su entorno suburbano o rural. Entre las causas de esta mayor acumulación se encuentran: la denominada isla de calor, que favorece la convección del aire que puede iniciar la precipitación; el efecto “obstáculo” que la Ciudad hace al desplazamiento de los sistemas meteorológicos; y los contaminantes atmosféricos que actúan como núcleos de condensación. El análisis comparativo entre las precipitaciones acumuladas en un año en Buenos Aires y en sus alrededores muestra que en la Ciudad llueve un 20% más y que el número de días con precipitación es un 6% superior. El aumento de días de lluvia es común en otras ciudades.



**Gráfico 5** Precipitación media mensual acumulada en milímetros y número medio mensual de días con precipitación. Ciudad de Buenos Aires. Período 1991-2000



Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

En el Gráfico 5 se presenta la precipitación mensual acumulada y el número medio mensual de días con precipitación en las dos estaciones de la Ciudad. El régimen de precipitación se caracteriza por máximos en los meses cálidos (entre noviembre y abril) y mínimos entre junio y septiembre. La precipitación anual acumulada en el Observatorio Central Buenos Aires es de 1.188,9 milímetros y en Aeroparque Aero de 1.065,9 milímetros. En general, el número de días al mes con precipitación oscila entre 5 y 10 en ambas estaciones. Los meses de abril y septiembre son los que presentan el mayor número de días con precipitación.

**Nubosidad**

En el área de la Ciudad de Buenos Aires, la nubosidad presenta poca variabilidad a lo largo del año. En el Gráfico 6, que presenta la nubosidad total media mensual medida en octavos de cielo cubierto, se puede ob-

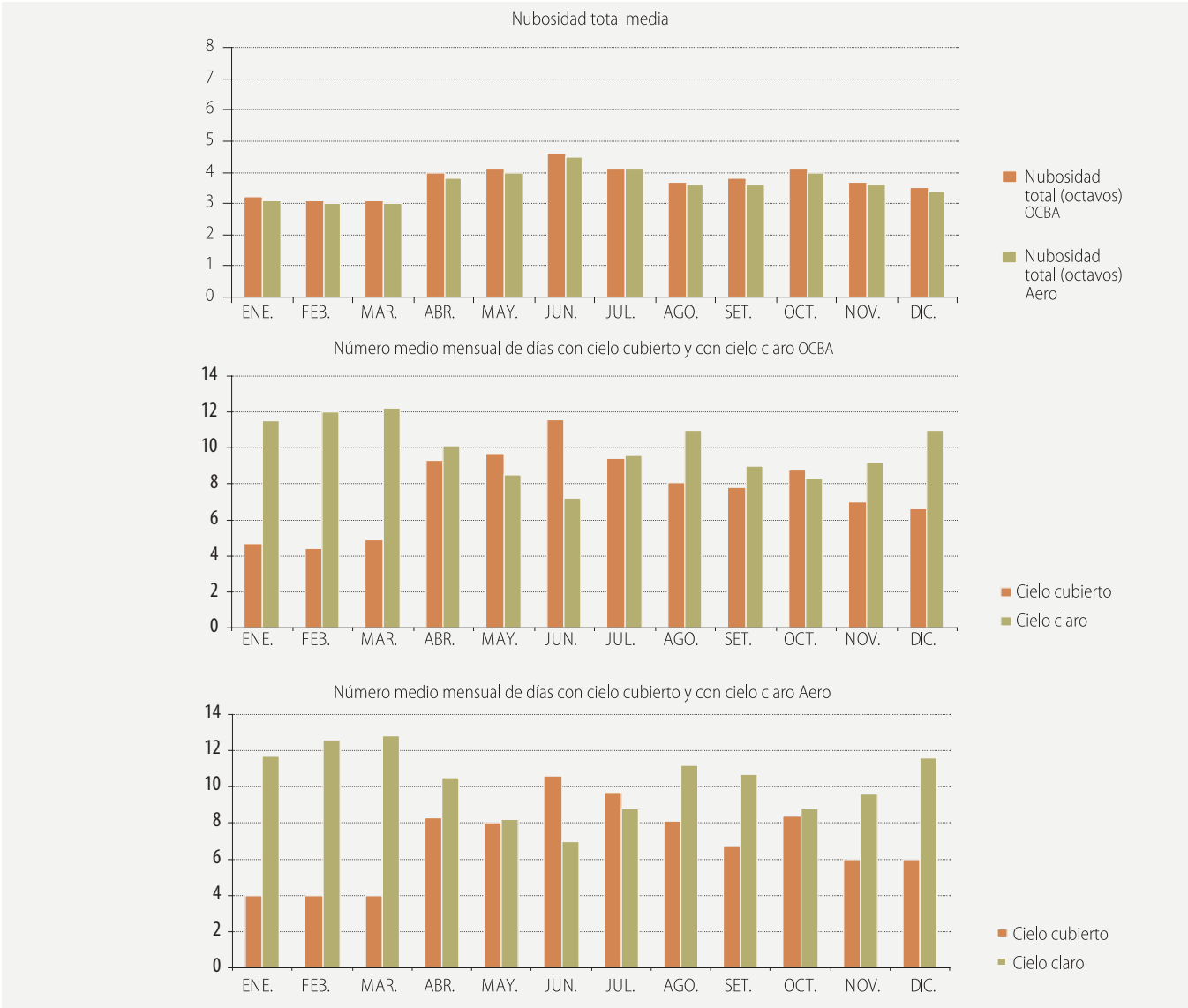


Las nieblas en la Ciudad registran su mayor frecuencia en el semestre frío que va de abril a septiembre. El Río de la Plata es la principal fuente de vapor de agua para la formación de dichas nieblas.

*Fotografía de Zulma Recchini, 2006.*

servar que los mayores promedios mensuales se registran en el trimestre mayo-junio-julio. Otras características importantes con respecto a la nubosidad se refieren a la frecuencia de la ocurrencia de cielo cubierto y cielo claro. Se habla de *cielo cubierto* cuando la nubosidad es superior a 6 octavos, mientras que *cielo claro* se refiere a aquel en que la nubosidad es inferior a 2 octavos. Estas frecuencias se presentan en el Gráfico 6 según datos de las dos estaciones meteorológicas consideradas. En general, los meses de verano son los que presentan la mayor frecuencia de días con cielo claro, mientras que durante el invierno se observa la mayor cantidad de días con cielo cubierto.

**Gráfico 6** Nubosidad total media en octavos y número medio mensual de días con cielo cubierto y con cielo claro. Ciudad de Buenos Aires. Período 1991-2000

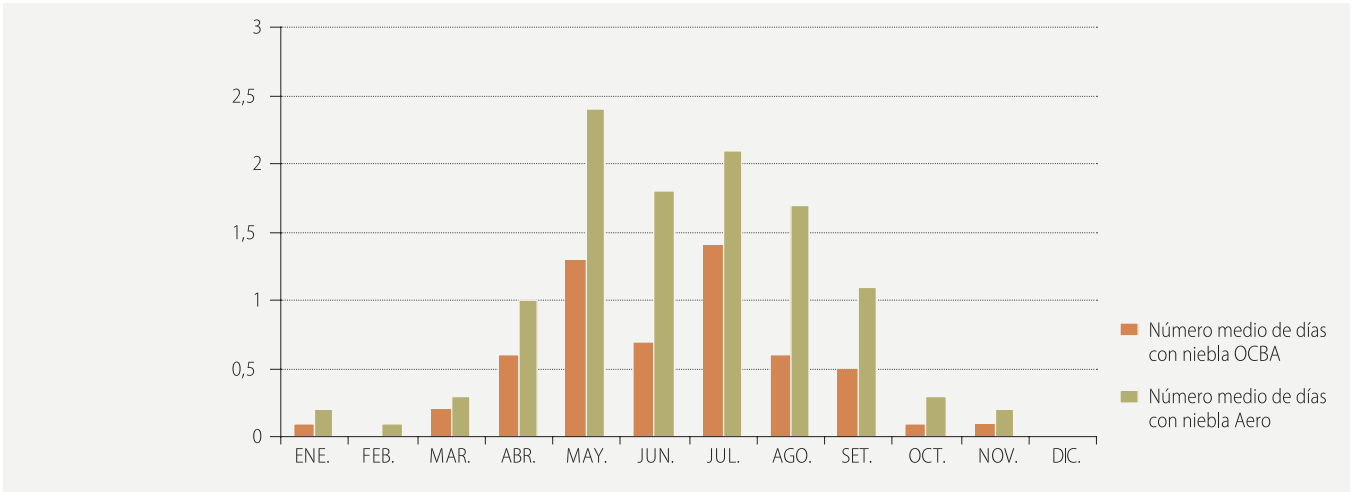


Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

### Niebla

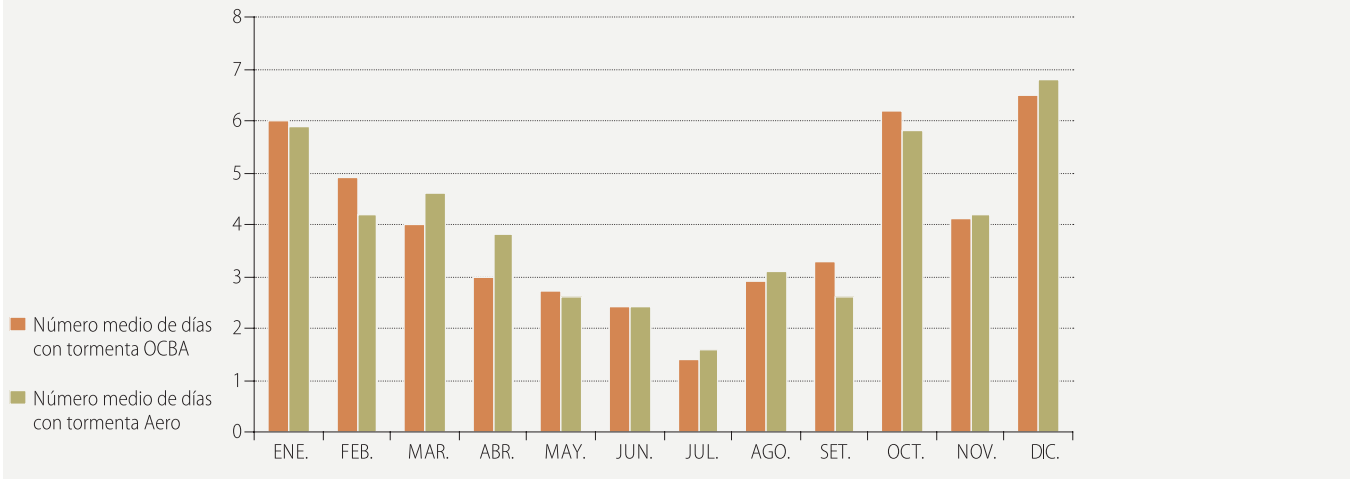
La niebla, al igual que las nubes, representa la manifestación visible de la condensación del vapor en la atmósfera. La diferencia más importante entre ambos fenómenos es que la niebla se produce próxima a la superficie a través de mecanismos diferentes a los que originan nubosidad. La niebla ocurre cuando la visibilidad está reducida a menos de 1 kilómetro. Se de-

**Gráfico 7**                    **Número medio mensual de días con niebla. Ciudad de Buenos Aires. Período 1991-2000**



*Fuente:* Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

**Gráfico 8**                    **Número medio mensual de días con tormenta. Ciudad de Buenos Aires. Período 1991-2000**



*Fuente:* Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Las tormentas son fenómenos de escala regional y, por ello, no existen diferencias significativas entre los registros de las estaciones meteorológicas de la Ciudad de Buenos Aires. La mayor frecuencia de tormentas se registra en el semestre más cálido, es decir, octubre-marzo. Fotografía de Nicolás D'Angelo, 2007.



fine como *visibilidad* a la mayor distancia a la cual un cuerpo negro de dimensiones adecuadas puede ser visto y reconocido sobre el cielo cerca del horizonte. La mayor frecuencia de ocurrencia de nieblas en la Ciudad se registra en el semestre frío (abril-septiembre) en la estación Aeroparque Aero; esta frecuencia duplica a la del Observatorio Central Buenos Aires (Gráfico 7). Como hemos visto, la diferencia entre ambas estaciones se debe a la proximidad del Aeroparque al Río de la Plata, principal fuente de vapor de agua para la formación de nieblas. Al evaporarse el agua, enriquece en vapor el aire húmedo que tiene por encima, provocando un aumento de la humedad relativa que rápidamente llega a la saturación debido a las bajas temperaturas que se registran particularmente en horas de la mañana entre abril y septiembre, dando lugar así a la formación de la niebla.

## Tormentas

En el Gráfico 8 se presenta el número medio mensual de días con tormenta. La mayor frecuencia de tormentas se registra en los meses más cálidos, el semestre octubre-marzo. Esto se debe a que las tormentas en la región son mayormente de origen convectivo. Se denomina *convección* a los movimientos de ascenso de aire, principalmente en dirección vertical. A medida que es calentada por el sol, la superficie absorbe energía;

entonces, puede producirse la convección, porque, a su vez, se calienta el aire en la porción inferior de la atmósfera próxima a la misma y se hace progresivamente menos denso que el aire del entorno y, de esta manera, se inicia el proceso de ascenso y de formación de nubes. El vapor de agua necesario para el desarrollo de nubes y precipitación es provisto por una intensa corriente en chorro en los niveles bajos de la atmósfera que predomina durante estos meses del año.

Debido a que las tormentas son fenómenos de escala regional (del orden de decenas de kilómetros), no existen diferencias significativas en la cantidad de tormentas registradas en las estaciones meteorológicas de la Ciudad de Buenos Aires.

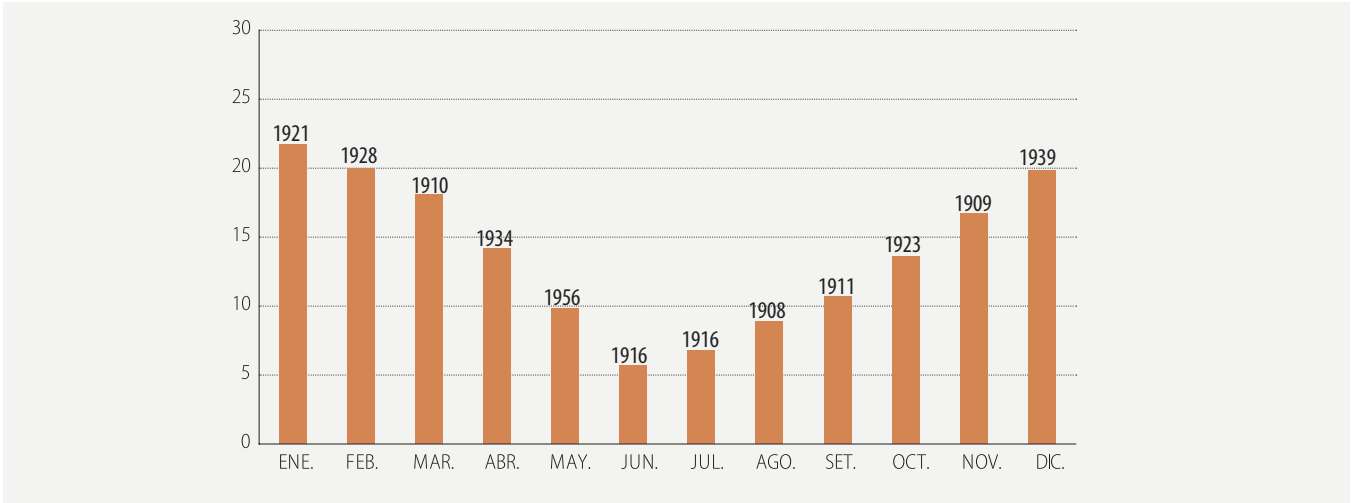
## Valores extremos

### Temperatura media mensual mínima

En el Gráfico 9 se presenta para cada mes del año el valor medio mensual más bajo alcanzado por la temperatura media entre 1906 y 2009, en la estación Observatorio Central Buenos Aires, así como su año de ocurrencia. De esta forma es posible extraer de este gráfico, por ejemplo, cuál fue el mes de enero más frío del que se tiene registro en la Ciudad de Buenos Aires. Por otra parte, en el Gráfico 10 se presentan las temperaturas mínimas absolutas registradas anualmente en el período 1985-2007 en las estaciones Observatorio Central Buenos Aires y Aeroparque Aero. Debido a que las temperaturas mínimas absolutas ocurren durante el invierno, los valores alcanzados en Aeroparque son superiores a los registrados en el Observatorio Central, hecho que se debe al efecto moderador de la temperatura producido por el Río de la Plata durante esa época del año. Asimismo, los datos del Observatorio Central parecen mostrar una tendencia a que las mínimas absolutas sean cada vez mayores, pero no se observa una tendencia similar en el Aeroparque.

Gráfico 9

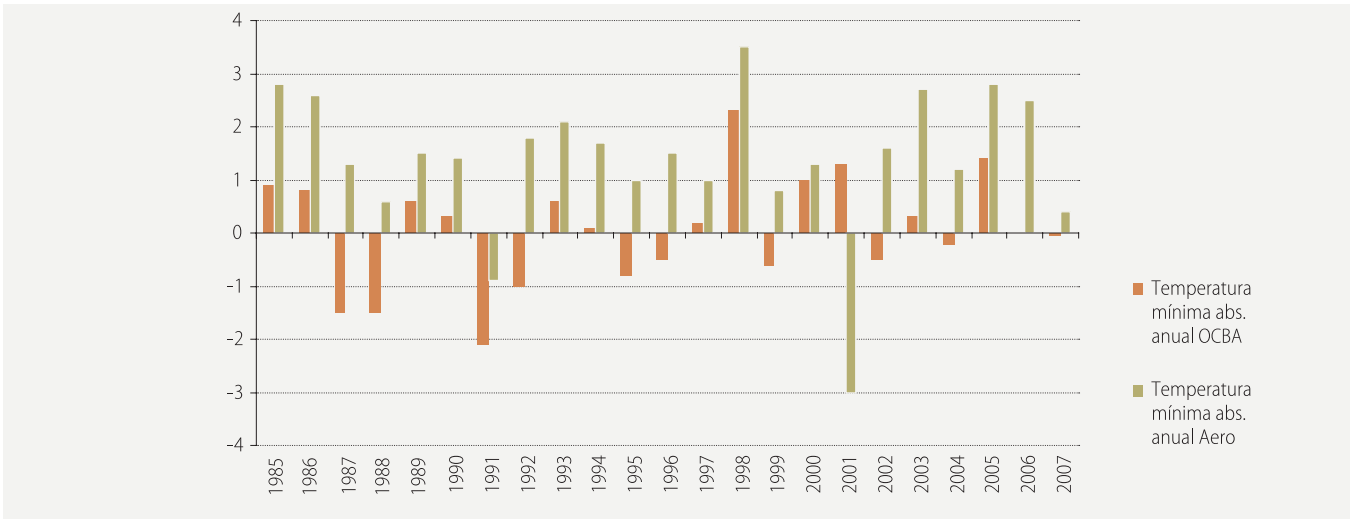
Temperatura media mensual mínima en grados centígrados y año de ocurrencia para cada mes. Ciudad de Buenos Aires. Período 1906-2009



Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

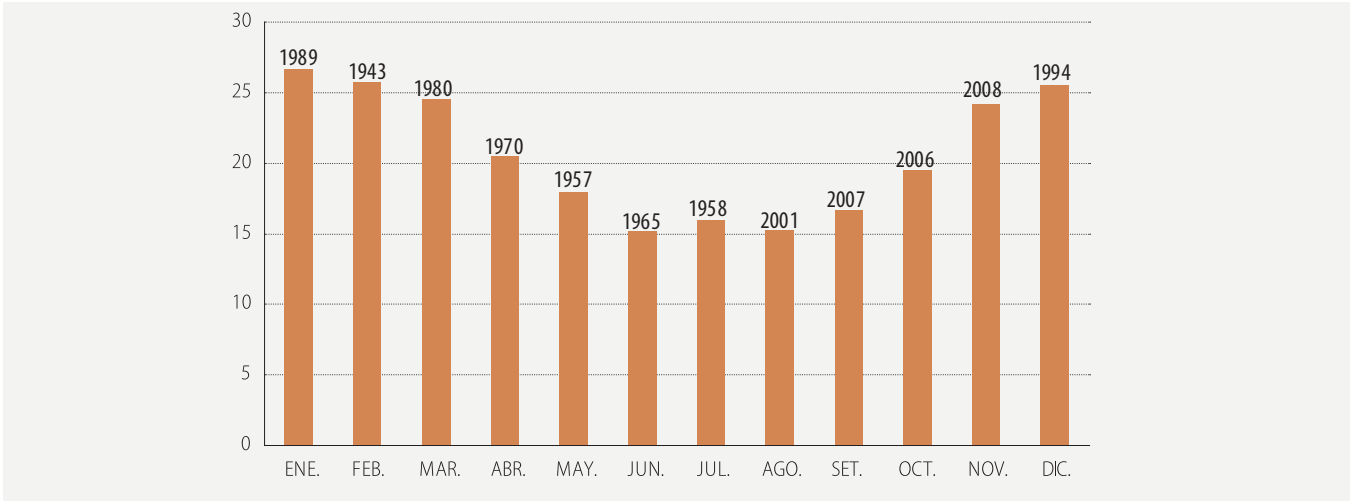
Gráfico 10

Temperatura mínima absoluta registrada anualmente en las estaciones OCBA y Aeroparque Aero. Ciudad de Buenos Aires. Período 1985-2007



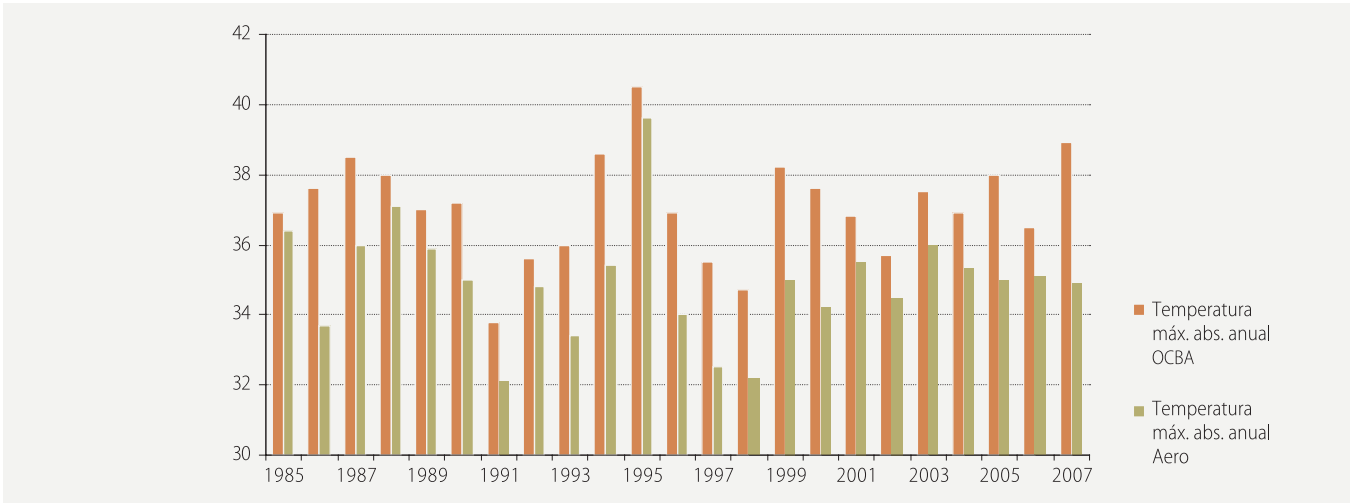
Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

**Gráfico 11**      **Temperatura media mensual máxima en grados centígrados y año de ocurrencia para cada mes. Ciudad de Buenos Aires. Período 1906-2009**



Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

**Gráfico 12**      **Temperatura máxima absoluta anual en grados centígrados. Ciudad de Buenos Aires. Período 1985-2007**



Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).



## Temperatura media mensual máxima

En el Gráfico 11 se presenta el máximo valor de la temperatura media de cada mes del año entre 1906 y 2009 en la estación Observatorio Central Buenos Aires, por año de ocurrencia. Este gráfico permite conocer, por ejemplo, cuál fue el mes de enero más cálido en la Ciudad de Buenos Aires desde el inicio de las mediciones en el Observatorio Central. En el Gráfico 12 se puede observar la temperatura máxima absoluta registrada anualmente en el período 1985-2007 en las dos estaciones. Dado que el Observatorio Central está ubicado en una zona densamente construida de la Ciudad registra mayores temperaturas por la contribución que hacen al calentamiento del aire los típicos materiales de construcciones y el equipamiento urbano.

## Precipitación

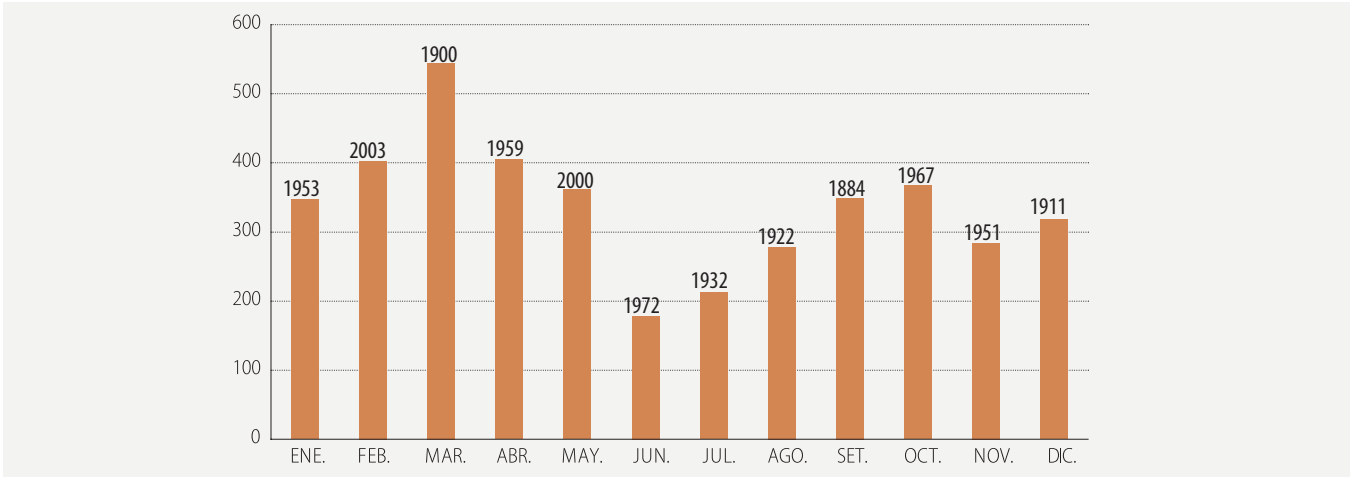
En los Gráfico 13a y 13b se presentan las precipitaciones máximas y mínimas mensuales acumuladas en la Ciudad de Buenos Aires entre 1861 y 2009. Se indica para cada mes el año en que se registró el valor extremo, de forma tal que se pueda identificar para cada mes el año más seco y el año más lluvioso desde que se tienen mediciones de este parámetro en la Ciudad.

## Fenómenos climáticos particulares

### La isla urbana de calor

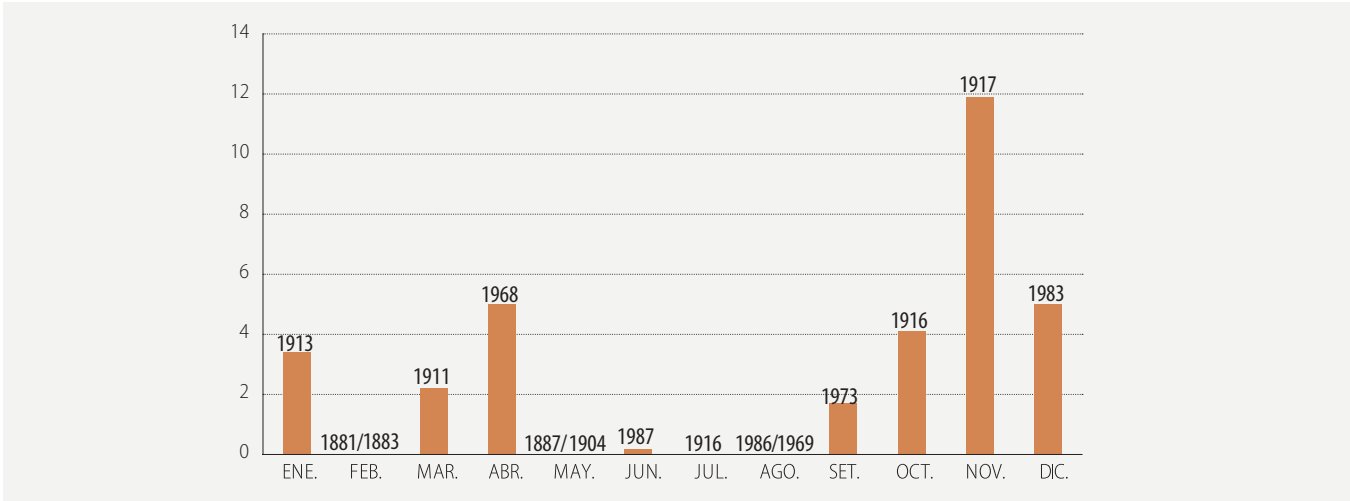
Una de las modificaciones más evidentes que introduce la urbanización en la temperatura de la atmósfera de las ciudades es el fenómeno conocido como isla urbana de calor (IUC). Este fenómeno hace referencia a que, principalmente durante noches sin viento y escasa nubosidad, las ciudades suelen ser más cálidas que el medio rural que las rodea. En general, la temperatura en la Ciudad de Buenos Aires se distribuye de forma tal que los valores más altos se registran en el área céntrica donde las construcciones forman un conjunto denso y compacto. En consecuencia, las isothermas presentan generalmente una disposición concéntrica alrededor del centro de la Ciudad con valores que tienden a disminuir hacia las regiones menos construidas.

**Grafico 13a**      **Precipitación mensual máxima en milímetros y año de ocurrencia. Ciudad de Buenos Aires. Período 1869-2009**



Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

**Gráfico 13b**      **Precipitación mensual mínima en milímetros y año de ocurrencia. Ciudad de Buenos Aires. Período 1861 y 2009**



Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Entre las causas que generan este fenómeno se pueden enumerar:

- El mayor almacenamiento de calor en la Ciudad durante las horas del día –debido a las propiedades térmicas de los materiales urbanos utilizados en las edificaciones– y su posterior devolución a la atmósfera durante la noche.
- La producción de calor como consecuencia de las diferentes actividades humanas y los procesos de combustión que se llevan a cabo en la Ciudad.
- La disminución de la evaporación debida al reemplazo de los espacios verdes naturales por pavimento, lo cual favorece el rápido escurrimiento de la precipitación e impide el almacenamiento de agua en el suelo.
- Una disminución en la pérdida de calor debida a la menor velocidad del viento en la Ciudad.
- Un aumento de la absorción de radiación solar debida a la mayor cantidad de superficies expuestas por la geometría urbana. La radiación solar incidente sufre múltiples reflexiones en las fachadas y techos así como en el suelo, quedando atrapada entre las calles.
- La absorción y reemisión hacia el suelo –por la contaminación del aire urbano– de la radiación terrestre.

La IUC de la Ciudad puede caracterizarse a través de su intensidad, forma y localización del máximo térmico.

La intensidad de la IUC se evalúa como la diferencia observada en un instante determinado entre la temperatura medida en el centro de la Ciudad ( $T_u$ ) y la del área rural próxima ( $T_r$ ). Esta intensidad varía con la hora del día y con la estación del año, y depende también de otros factores meteorológicos, como el viento y la nubosidad, y de factores urbanos, como la densidad de las construcciones o el tamaño de la ciudad. En general, la máxima intensidad se produce entre 4 y 6 horas después de la puesta del Sol, mientras que durante el mediodía y las primeras horas de la tarde la diferencia suele ser mínima e, incluso, en algunas ciudades como Buenos Aires, la temperatura puede ser inferior a la rural. Este fenómeno inverso suele denominarse *isla fría o anti-isla de calor*. Asimismo, la máxima intensidad se observa generalmente durante el invierno, especialmente en ciudades con inviernos muy fríos (Landsberg, 1981).

La velocidad del viento es el parámetro meteorológico con mayor capacidad de modificar en forma significativa la intensidad de la IUC. Cuando la velocidad del viento aumenta, la diferencia de temperatura urbana-rural disminuye. De esta forma, pueden alcanzarse ciertas velocidades críticas a partir de las cuales la IUC no se desarrolla. Estos valores críticos varían de una ciudad a otra y dependen en gran medida de sus dimensiones. La nubosidad es también un factor limitante de la intensidad de la IUC ya que, en general, cuanto mayor es la nubosidad menor es la intensidad. Entre los factores urbanos que condicionan la magnitud de la IUC el más importante es el tamaño de la ciudad, en general medido en número de habitantes: cuanto mayor es la población de la ciudad mayor es la intensidad de la IUC.

La forma o configuración espacial de la IUC depende en gran medida de las características morfológicas propias de cada ciudad: si está emplazada en un valle, junto a un río, lago o mar, o rodeada de montañas. Cuando la velocidad del viento es moderada, la IUC suele deformarse y orientarse en la dirección que sopla el viento. La localización del máximo térmico está determinada, entonces, por factores urbanos y por el viento. En general, las máximas temperaturas tienden a encontrarse a sotavento del área más densamente construida.

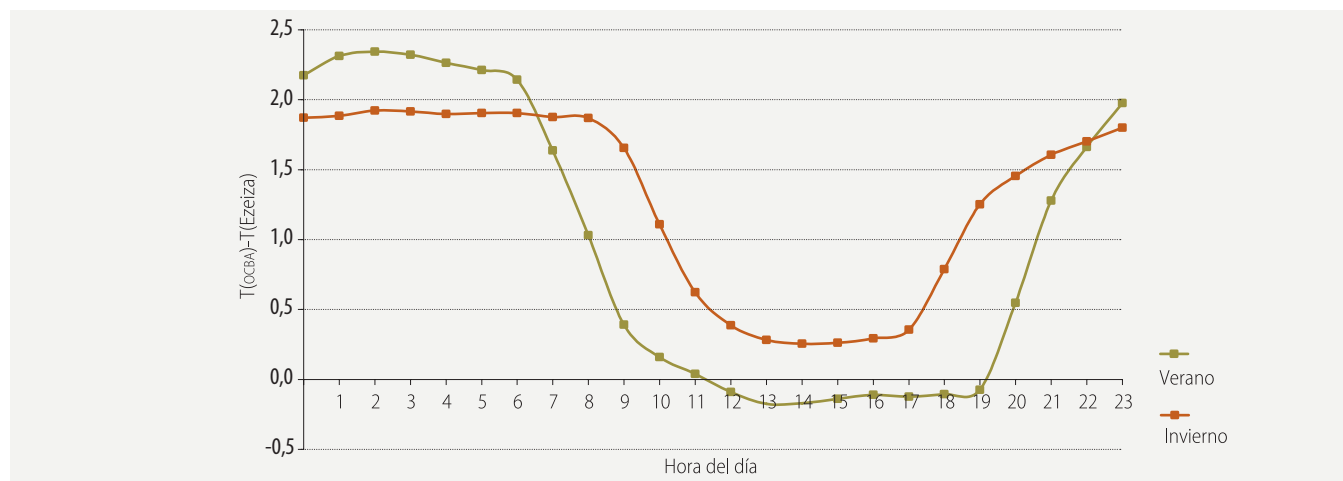
Durante el invierno, la Ciudad puede verse beneficiada por el calentamiento asociado a la IUC, ya que se reducen las necesidades de calefacción. Sin embargo, durante el verano se produce el efecto contrario: debido a la mayor temperatura, aumentan los requerimientos de refrigeración y se agravan los impactos sobre la salud, con un incremento del riesgo de muertes en el sector de la población afectado por dolencias cardiovasculares y respiratorias.

La IUC de Buenos Aires tiene un ciclo diario bien definido que se debe, principalmente, a las diferencias en las velocidades con que se calientan y enfrían las superficies urbanas y rurales en respuesta a los cambios de insolación a lo largo del día. De la misma forma, la magnitud de la IUC varía según la época del año, alcanzando el máximo durante el invierno y el mínimo en el verano.

En el Gráfico 14 se presenta la variación media horaria de la intensidad de la IUC de la Ciudad de Buenos Aires para verano e invierno, calculada como la diferencia entre las temperaturas horarias registradas en el período 1976-2008 en las estaciones meteorológicas Observatorio Central Buenos Aires (urbana) y Ezeiza Aero (rural) pertenecientes a la red de ob-

Gráfico 14

**Intensidad media horaria en grados centígrados de la Isla Urbana de Calor, en verano e invierno. Ciudad de Buenos Aires. Período 1960-2008**



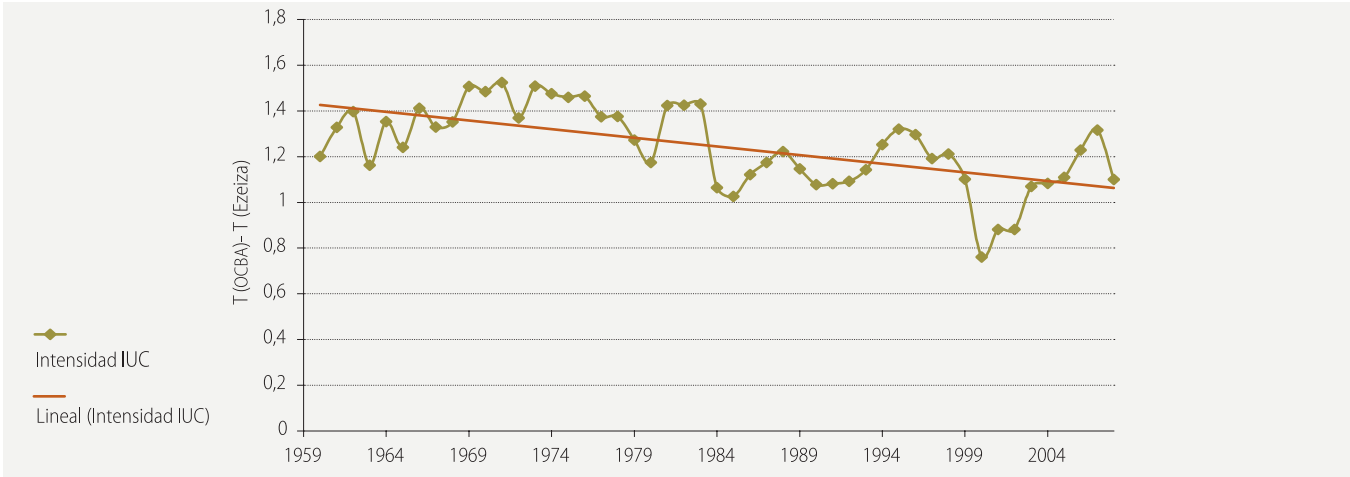
Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

servación del Servicio Meteorológico Nacional. Los cambios estacionales se deben principalmente a las diferencias en la radiación solar recibida, a las características de la superficie y a las actividades humanas. La intensidad de la IUC de Buenos Aires es, en promedio, menor en el invierno (1 °C) y alcanza el máximo valor medio durante el verano (1,3 °C). No obstante, durante el verano se registra con mayor frecuencia el efecto de isla-fría. Tanto en el verano como en el invierno, la intensidad de la IUC es mínima durante las horas del día y máxima en la noche.

La diferencia de temperatura entre la Ciudad de Buenos Aires y el área suburbana puede alcanzar valores del orden de 10 °C. Por ejemplo, la intensidad máxima horaria de la IUC registrada en el período 1976-2007 fue de 11,3 °C en el verano (14/01/2005 a las 19:00 horas) y de 10,2 °C en el invierno (28/08/1982 a las 22:00 horas). Estos valores superan los valores de intensidad máxima de la IUC encontrados en Barcelona (8 °C) (Moreno García, 1994), en Londres (8,6 °C) (Kolokotroni y Giridharana, 2008) y en México (7,8 °C) (Jauregui, 1997).

En el Gráfico 15 se muestra la evolución de la intensidad media de la IUC de la Ciudad de Buenos Aires para el período 1960-2008. Es posible apreciar que, pese al aumento de la edificación durante este período, el efecto de calentamiento urbano muestra una tendencia negativa. Este comportamiento indica que la población/edificación no es el único parámetro a considerar para estimar la magnitud de este fenómeno. La intensi-

**Gráfico 15**      **Intensidad media anual en grados centígrados de la Isla Urbana de Calor, en verano e invierno. Ciudad de Buenos Aires. Período 1960-2008**



Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

dad de la IUC es el resultado de complejas interacciones con otros factores climáticos, como la nubosidad y la velocidad del viento. Por ejemplo, en el período se ha observado una menor frecuencia de noches con cielo despejado y viento en calma; y, dado que la IUC se desarrolla y alcanza su máxima intensidad durante la noche y bajo condiciones de cielo claro y de viento débil o en calma, es posible entender que ante la menor frecuencia de estas condiciones disminuya la intensidad del calentamiento urbano.

**Sudestadas**

El estuario del Río de la Plata está dispuesto en dirección noroeste-sudeste de forma que cuando lo afectan vientos fuertes del sudeste el nivel del agua asciende y las zonas bajas de la margen derecha pueden sufrir inundaciones. A las situaciones meteorológicas asociadas a vientos intensos del cuadrante Este-Sur, que en ocasiones están acompañadas por precipitación, se las conoce como *sudestadas*. Este fenómeno se caracteriza por la presencia de un centro de alta presión ubicado sobre la Patagonia o sobre el sur de la Provincia de Buenos Aires que transporta aire frío y de origen marítimo hacia el este de la Provincia de Buenos Aires, sur del Litoral y sur de la República Oriental del Uruguay, y de un centro de baja presión ubicado en el Litoral y sobre el Uruguay que aporta aire cálido y húmedo proveniente del norte del país. En las sudestadas leves, el viento alcanza velocidades de 10 a 20 nudos (19 a 37 km/h); y en los casos de



Las conocidas “sudestadas” son producidas por vientos intensos del cuadrante Este-Sur que, en ocasiones, se acompañan de precipitaciones.

*Fuente: Fundación Antorchas, 1997.*

sudestadas más intensas, supera los 40 nudos (74 km/h). Estos fenómenos duran comúnmente de uno a tres días y, si bien ocurren durante todo el año, son más frecuentes en verano, comienzos del otoño e inicio de la primavera. La mayor parte de las sudestadas no están asociadas a la ocurrencia de precipitación; los casos en los que sí se acompañan de lluvias se desarrollan preferentemente en el mes de enero y durante la primavera. La frecuencia de sudestadas en la Ciudad de Buenos Aires se ha ido incrementando con el tiempo: pasó de 35 eventos en la década de 1960 a 79 eventos en la década de 1990 (Bischoff, 2005).

### Ola de calor

De acuerdo con la definición del Servicio Meteorológico Nacional, en la Ciudad de Buenos Aires se desarrolla una ola de calor cuando las temperaturas mínimas se elevan por encima de 20 °C, las máximas lo hacen por encima de 29 °C, la humedad relativa oscila entre 60 y 90% y esta situación

persiste durante algunos días. Entre las causas de las olas de calor estivales se encuentran el aumento de radiación solar por una recurrencia de días despejados y la entrada de aire cálido desde el norte.

Entre el 27 de enero y el 1º de febrero de 2003 se produjo una de las olas de calor más intensas de las que se tiene registro en la Ciudad de Buenos Aires.

Si bien las olas de calor en la Ciudad se desarrollan con frecuencia entre el 15 de diciembre y el 15 de febrero, también es posible su ocurrencia durante los meses de invierno. Entre el 24 y el 30 de agosto de 2009 se presentó una intensa ola de calor en el norte y centro de la Argentina, ocasión en la cual a las 15 horas del 30 de agosto en la Ciudad de Buenos Aires se registró una temperatura de 34,4 °C, récord histórico para ese mes. Hasta entonces, según las mediciones desde 1906, el día más caluroso de agosto había sido el 24 de agosto de 1996 con 33,7 °C.

## Cambio climático

El cambio climático es la variación significativa y persistente del clima durante un período largo de tiempo (algunas décadas) que se produce debido a causas naturales y humanas. Los factores naturales que producen cambios en el clima pueden ser las variaciones en la cantidad de energía solar que llega a la Tierra, las modificaciones en la composición química de la atmósfera por efecto del vulcanismo y las alteraciones en la distribución de las superficies continentales que se producen por lentos procesos geológicos.

Los cambios debidos a factores humanos se deben, por un lado, a alteraciones de la superficie terrestre, tales como el reemplazo de la cobertura natural por ciudades, construcción de embalses y deforestación y, por el otro, a cambios en la composición química de la atmósfera producidos por la inyección de gases que potencian el efecto invernadero natural, principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

Las emisiones de CO<sub>2</sub> se originan en gran medida en la combustión de hidrocarburos fósiles (carbón, derivados del petróleo y gas natural) y han tenido un crecimiento exponencial desde el inicio del siglo XIX. Si bien una parte del CO<sub>2</sub> emitido por las actividades humanas es captado por los océanos, la biosfera y el suelo, su concentración ha aumentado un 30% en los últimos 150 años. Los niveles preindustriales eran aproxima-



damente de 280 ppm, mientras que los niveles actuales se encuentran en alrededor de los 387 ppm. Las mayores emisiones de  $\text{CH}_4$  se producen en el sector agropecuario por el cultivo de arroz y por la ganadería. El  $\text{N}_2\text{O}$  se genera principalmente en actividades agrícolas por la utilización de fertilizantes nitrogenados y, en menor medida, por la combustión de hidrocarburos a altas temperaturas. En décadas recientes, la tecnología desarrolló otros gases que no existían en la naturaleza, como los clorofluorcarbonos, freones y halones –cuya mayor utilización se vincula con la refrigeración– que actúan también reforzando el efecto invernadero (Camilloni, 2008).

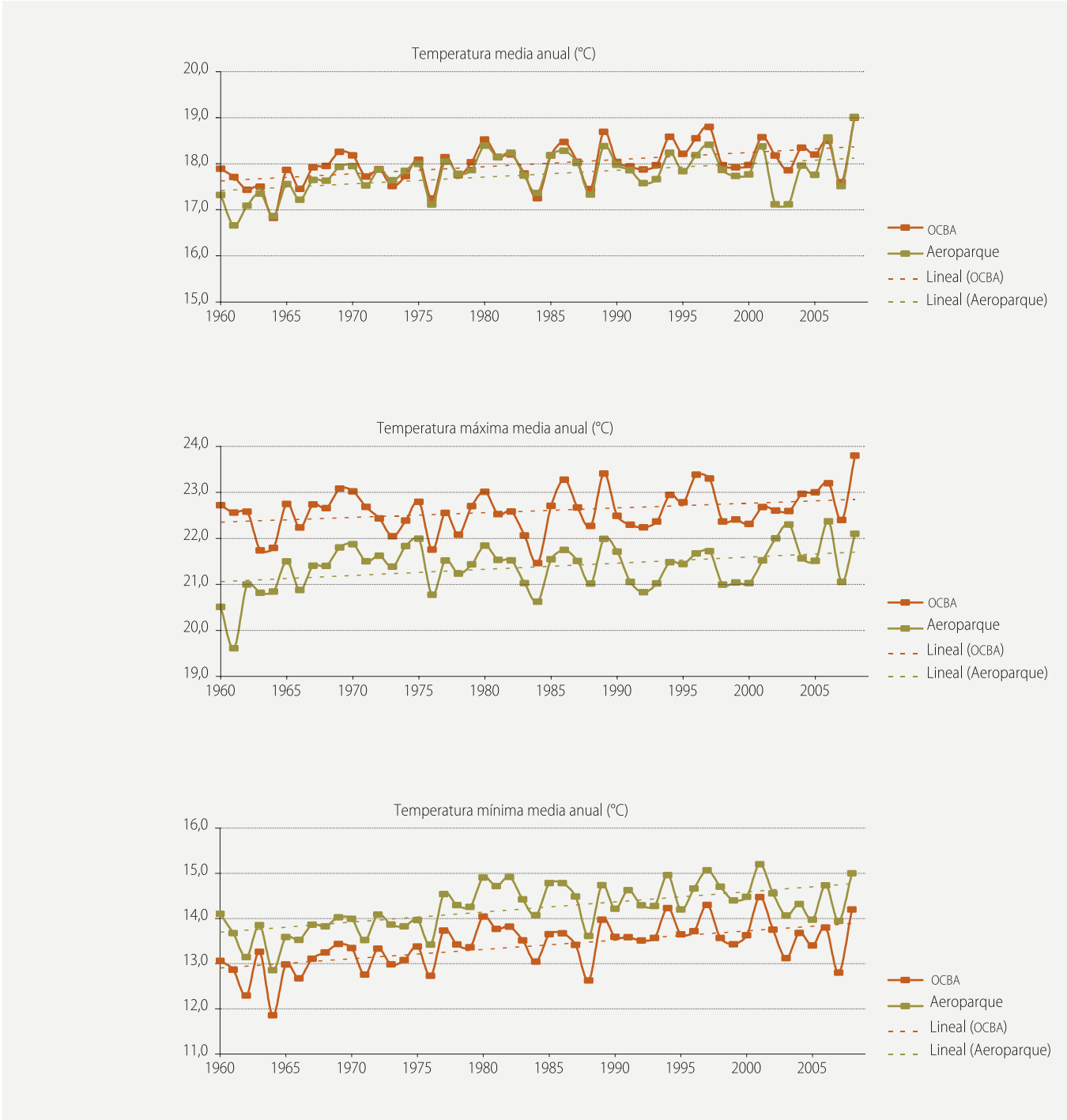
En los últimos 150 años aumentó la temperatura media de la superficie terrestre, la mayor parte de los glaciares comenzaron a retroceder y las precipitaciones han registrado significativos incrementos en algunas regiones y grandes disminuciones en otras. En particular, la temperatura global aumentó  $0,74\text{ }^{\circ}\text{C}$  en los últimos 100 años y alrededor de  $0,40\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante los últimos 25 años, período con observaciones más confiables. Tratándose de tendencias significativas observadas en poco más de un siglo, la comunidad científica y el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, en su informe del año 2007, concluyeron que el calentamiento del sistema climático es inequívoco y que es imposible que el actual aceleramiento del calentamiento global se deba a causas naturales.

## Cambios observados

En la región central de la Argentina, los registros de temperatura no muestran en general fuertes tendencias hacia temperaturas medias más elevadas, pero se observa que los veranos tienden a ser más largos y a prolongarse en el otoño, mientras que los inviernos tienden a ser más moderados. En particular, en las regiones urbanas y en la Ciudad de Buenos Aires –por efecto de la IUC– las temperaturas tienden a ser mayores que las registradas en áreas suburbanas y rurales circundantes. En el Gráfico 16 se detalla la evolución de las temperaturas media, máxima media y mínima media anuales para las dos estaciones meteorológicas y para el período 1960-2008. A partir de las rectas de tendencia lineal indicadas, es posible determinar que en todos los casos se observan tendencias hacia mayores valores que alcanzan un valor máximo de  $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  cada 100 años para la temperatura media en el Observatorio Buenos Aires, de  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  cada 100 años para la temperatura máxima en Aeroparque y de  $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  cada 100 años para la temperatura mínima en Aeroparque (Camilloni, 2009).

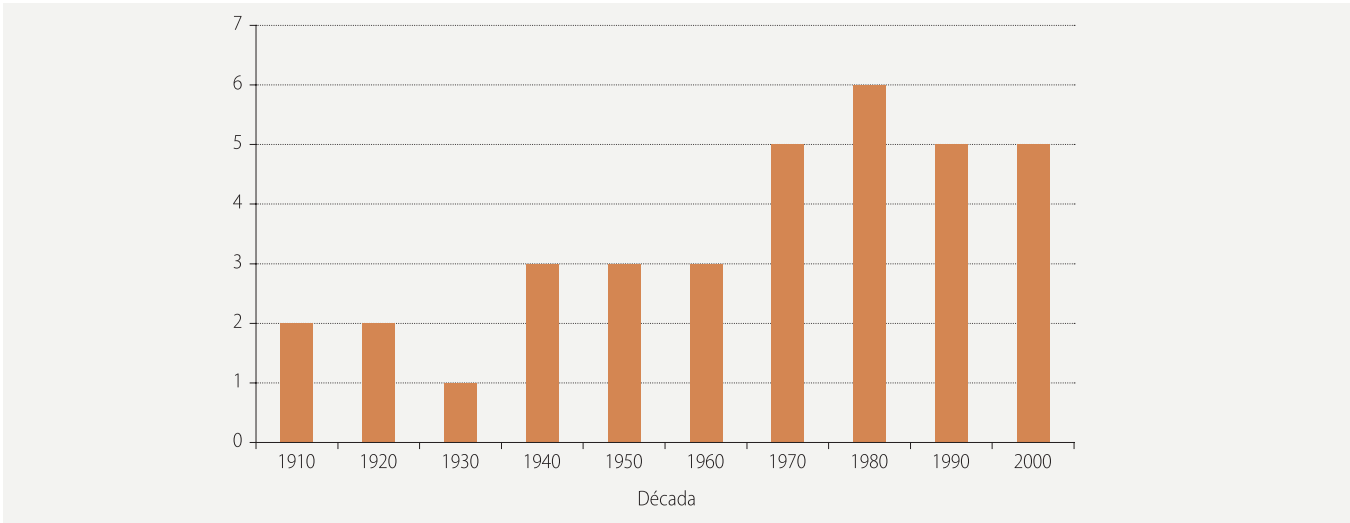
Gráfico 16

Evolución de las temperaturas media, máxima media y mínima media anuales para las dos estaciones meteorológicas. Ciudad de Buenos Aires, Período 1960-2008



Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

**Gráfico 17**      **Número de días por década con precipitación diaria mayor a 100 milímetros. Ciudad de Buenos Aires. Período 1910-2008**



*Fuente:* Elaboración propia a partir de los registros de las estaciones indicadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Con respecto a la precipitación, el centro y norte de la Argentina forma parte de la región del sudeste de Sudamérica en la que la precipitación se incrementó un 23% en el último siglo, en contraste con la región centro-oeste del país y de Chile en la que se redujo un 50% en ese mismo período. En la Argentina las tendencias al aumento de la precipitación son especialmente evidentes a partir de las décadas de 1960 y de 1970. Se observan tendencias significativas en ambas estaciones y ellas muestran un incremento en la precipitación anual acumulada de aproximadamente 5 mm/año, lo que representa un aumento en la precipitación anual de alrededor del 22% en el período analizado (1960-2008).

Los cambios observados en las últimas décadas muestran también una tendencia al aumento de las precipitaciones extremas, responsables de los anegamientos en la Ciudad. En el Gráfico 17 se muestra, para el período 1910-2008, el número de casos en los que la precipitación acumulada durante 24 horas en la Ciudad de Buenos Aires fue superior a 100 mm. Se observa que en las últimas tres décadas (1980-2008) esa cifra es prácticamente el triple de la de las primeras tres décadas (1910-1939). Sin duda, estos cambios tanto en la cantidad como en la frecuencia de precipitaciones intensas se relacionan con impactos negativos sobre la infraestructura urbana y la población.

Otro cambio significativo en el clima de la región central de la Argentina se relaciona con el desplazamiento hacia el sur del anticiclón del Atlántico Sur a partir de la década 1960. El desplazamiento provoca modificaciones en la circulación del aire próximo a la superficie que se manifiestan, principalmente, en una mayor frecuencia de vientos de la dirección este sobre el Río de la Plata, cuyas mayores crecidas se originan por fuertes tormentas con vientos del sudeste.

La altura del Río de la Plata está determinada por el nivel del mar, la orientación de los vientos y el aporte de los ríos tributarios Paraná y Uruguay. En el último siglo, el Río de la Plata experimentó un aumento en su nivel medio. De acuerdo con los datos provistos por el mareógrafo de Buenos Aires, el nivel de las aguas tiende a aumentar 1,7 mm/año. De continuar esta tendencia, toda la región y sus áreas adyacentes se verían afectadas considerablemente debido a un aumento en la frecuencia de inundaciones en áreas bajas y al incremento de la erosión en algunas zonas costeras. A partir de la década 1970, aumentó la frecuencia de ocurrencia de sudestadas y, en coincidencia con el incremento de la frecuencia de vientos del este debido al desplazamiento del anticiclón del Atlántico Sur, se aceleró el aumento del nivel del río en Buenos Aires.

## Escenarios climáticos futuros

Los escenarios climáticos son representaciones del futuro posible basadas en supuestos sobre las futuras concentraciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y el efecto que tendrá el aumento de las concentraciones de estos gases sobre el clima global.

Un escenario climático es una indicación acerca de cómo podría ser el clima en las próximas décadas a partir de un conjunto de supuestos que incluyen: tendencias futuras de demanda energética, emisiones de GEI, cambios en el uso del suelo y aproximaciones a las leyes que rigen el comportamiento del sistema climático en períodos largos de tiempo. En consecuencia, la incertidumbre que rodea a estas suposiciones es grande y determina el rango de los escenarios posibles.

No obstante, a pesar de las incertidumbres mencionadas, los modelos climáticos globales (MCG) constituyen la herramienta más confiable para simular la respuesta del sistema climático global al incremento de las concentraciones de los GEI, pues se basan en representaciones de los procesos físicos en la atmósfera, los océanos, la criosfera y la superficie

**Cuadro 1** Cambios de temperatura y precipitación para diferentes décadas y escenarios de emisiones. Ciudad de Buenos Aires

Escenarios	Décadas					
	2020-29		2050-59		2080-89	
	T (°C)	Precipitación (%)	T (°C)	Precipitación (%)	T (°C)	Precipitación (%)
Altas emisiones (A2)	0,9	-0,6	1,9	2,9	2,8	3,8
Bajas emisiones (B2)	0,6	-1,3	1,4	9,2	1,9	12,5

terrestre. A partir de la información provista por los MCG y utilizando modelos climáticos regionales, es posible realizar un proceso denominado “*downscaling* dinámico” que permite mejorar la resolución espacial de los escenarios climáticos. De esta forma, la información detallada sobre los cambios proyectados para las próximas décadas es una herramienta valiosa para el diseño de políticas de adaptación y mitigación del cambio climático.

A partir de la información del modelo climático regional de alta resolución PRECIS desarrollado por el Hadley Centre (Reino Unido), el Centro de Previsión del Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC) de Brasil ha generado escenarios futuros de cambios de temperatura media anual y precipitación anual acumulada para la región sudeste de Sudamérica –que incluye el Área Metropolitana de Buenos Aires– para los períodos 2020-29, 2050-59 y 2080-89 respecto del período 1961-90 y para los escenarios de emisiones de GEI denominados A2 (altas emisiones) y B2 (bajas emisiones).

En lo que se refiere a la temperatura, estos escenarios futuros muestran un calentamiento generalizado en toda la región que será particularmente importante en el sector norte del área considerada. Con respecto a la Ciudad de Buenos Aires, los calentamientos esperados según los dos escenarios de emisiones considerados se presentan en el Cuadro 1. Los cambios esperados en la precipitación son más variables espacialmente y en la Ciudad de Buenos Aires, en particular, los escenarios no muestran cambios significativos: una leve disminución en la década de 2020 y un incremento hacia mediados y fines de siglo XXI.

## Reflexión final

Las ciudades constituyen una transformación radical del paisaje natural cuyos impactos no se limitan únicamente a la modificación de la morfología del terreno, sino que además introducen cambios significativos en las características climáticas y ambientales. De esta forma, las alteraciones en las condiciones de la atmósfera de ambientes urbanos, que dan lugar a lo que se conoce como “clima urbano”, son resultado de la actuación del hombre, de las edificaciones y materiales urbanos y de las actividades que se desarrollan en la ciudad.

La magnitud y características de los cambios introducidos por las actividades humanas son variables de una ciudad a otra y están íntimamente ligados a la geometría urbana definida a través de la densidad y tipo de construcciones, el consumo de energía, el transporte y la densidad y distribución de los espacios verdes. Buenos Aires es una megaciudad y las actividades que en ella tienen lugar han generado impactos evidentes sobre el clima. A lo largo de este capítulo se han mostrado las características principales de su clima, los cambios ocurridos en las últimas décadas y las perspectivas futuras en el contexto del cambio climático global. Se espera que la debida consideración de esta información constituya una herramienta útil para el diseño de políticas y planes urbanos que integren al ambiente como uno de los componentes que no pueden dejarse de lado.

## Bibliografía

- BISCHOFF, S. (2005), “Sudestadas”, en V. BARROS, A. MENÉNDEZ y G. NAGY (eds.), *El cambio climático en el Río de la Plata*, Buenos Aires, Ed. CIMA.
- CAMILLONI, I. (2008), “Cambio Climático”, en revista *Ciencia Hoy*, n° 103, Buenos Aires, Asociación Civil Ciencia Hoy, pp. 42-49.
- (2009), “Unidad Temática Cambio Climático”, en *Atlas Ambiental de Buenos Aires*. Disponible en: [www.atlasdebuenosaires.gov.ar](http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar).
- CAMILLONI, I. y C. VERA (2006), *El aire y el agua en nuestro planeta*, Buenos Aires, EUDEBA.
- CAMILLONI, I. y V. BARROS (2007), “Unidad Temática Clima”, en *Atlas Ambiental de Buenos Aires*. Disponible en: [www.atlasdebuenosaires.gov.ar](http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar).
- JAUREGUI, E. (1997), “Heat island development in Mexico City”, en *Atmospheric Environment*, 31, 22, Amsterdam, Elsevier, pp. 3821-3831.
- KOLOKOTRONI, M. y R. GIRIDHARANA (2008), “Urban heat island intensity in London: An investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer”, en *Solar Energy*, 82, 11, Amsterdam, Elsevier, pp. 986-998.
- LANDSBERG, H. (1981), *The urban climate*, Nueva York, Academic Press.
- MORENO-GARCÍA, M. (1994), “Intensity and form of the urban heat island in Barcelona”, en *International Journal of Climatology*, 14, 6, West Sussex, Royal Meteorological Society, pp. 705-710.

