



Investigaciones Geográficas (Esp)  
E-ISSN: 1989-9890  
inst.geografia@ua.es  
Universidad de Alicante  
España

Fernández García, Felipe  
CIUDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO: ASPECTOS GENERALES Y APLICACIÓN AL ÁREA  
METROPOLITANA DE MADRID  
Investigaciones Geográficas (Esp), núm. 49, 2009, pp. 173-180  
Universidad de Alicante  
Alicante, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17617034009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

## CIUDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO: ASPECTOS GENERALES Y APLICACIÓN AL ÁREA METROPOLITANA DE MADRID

Felipe Fernández García<sup>1</sup>  
Departamento de Geografía  
Universidad Autónoma de Madrid

### RESUMEN

En este artículo se analizan las relaciones de la ciudad y el clima, desde una doble perspectiva: la del cambio climático y la del clima urbano. Las ciudades modifican el clima regional, contribuyen de forma notable al calentamiento global y son las áreas más vulnerables a los impactos del cambio climático: las ciudades consumen el 75% de la energía y son las responsables del 80% de las emisiones de Gases de efecto invernadero. Hemos estructurado el trabajo en tres apartados: en el primero analizaremos, a escala global, las características del clima urbano, sus impactos y las medidas propuestas para su mitigación; en los otros dos, centraremos nuestro interés en España y el área de Madrid, la zona más poblada de la península y en la que los estudios sobre clima urbano permiten plantear, a escala local, los aspectos tratados en el primer apartado.

*Palabras clave:* Clima urbano, Cambio Climático, Madrid.

### ABSTRACT

This article analyzes the relationship between the city and the climate from two perspectives: the climate change and the urban climate. The cities transform regional climate, contribute significantly to global warming and are the most vulnerable zones to the impacts of climate change. Cities and urban areas consume 75% of the world's energy and produce up to 80% of its greenhouse gas emissions. We have divided the work into three sections: in the first one it will be discussed the characteristics of the urban climate, its impacts and the mitigation measures proposed; the other two parts will focus in Spain and Madrid, the most populated area of the peninsula and where the urban climate studies already made allow the application of the issues raised in the first paragraph on a local scale.

*Key words:* Urban Climate, Climate Change, Madrid.

---

<sup>1</sup> felipe.fernandez@uam.es

## **Introducción**

El siglo XX ha sido el siglo del ambientalismo, de la preocupación por los aspectos ambientales y de las transformaciones que el hombre introduce en la naturaleza. Se toma conciencia del deterioro ambiental debido a la presión humana y de las consecuencias que en un futuro no muy lejano podría tener tal deterioro sobre aspectos esenciales como la producción de alimentos, el agua y los recursos naturales, en general. En 1972, en la conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente, celebrada en Estocolmo, se introdujo por vez primera en la agenda política internacional la dimensión ambiental como factor condicionante del modelo tradicional de crecimiento económico y del uso de los recursos naturales; en 1988 se crea el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o IPCC (*Intergovernmental Panel for Climate Change*), bajo los auspicios de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

El clima como factor clave de la vida en la tierra adquiere especial protagonismo y el IPCC tiene como objetivo el estudio del sistema climático, pero también, las consecuencias que podrían derivarse de un cambio en los parámetros actuales del clima. Los tres grupos de trabajo que lo forman, tienen un marcado carácter interdisciplinar y sus miembros son los encargados de recopilar, depurar y publicar los principales avances científicos en tres aspectos fundamentales como son: primero, el estudio del sistema climático, su variabilidad y tendencias; segundo, los impactos del clima sobre la sociedad y los ecosistemas y, tercero, las medida de adaptación y mitigación que se deberían tomar para minimizar los efectos negativos.

Sus informes se han convertido en el referente de la política ambiental actual, con implicaciones en todos los sectores económicos, sociales y ambientales del mundo actual (<http://www.ipcc.ch>).

Los cuatro informes publicados hasta la fecha (1990, 1995, 2001 y 2007) han demostrado que el clima actual se encuentra en un proceso de cambio en relación al patrón normal de los últimos 10.000 años; que en ese cambio influyen de manera muy notable las transformaciones del hombre sobre la superficie terrestre y la atmósfera y que el cambio climático es un fenómeno mundial con repercusiones muy negativas sobre la sociedad y los ecosistemas.

El siglo XX ha sido, también, el siglo de la urbanización: la población urbana ha pasado de un 15% en 1890 a más del 50% en el año 2000 y las proyecciones futuras indican que este fenómeno continuará a lo largo de este siglo, de tal modo que en 2050 el 70% de la población vivirá en ciudades de más de 10 millones de habitantes, por lo que las *megacidades* serán el fenómeno urbano del siglo XXI (UN-HABITAT, 2008).

La ciudad constituye la forma más radical de transformación del paisaje natural y su aparición da lugar a un espacio eminentemente antropizado en el que la actuación del hombre se manifiesta en una doble vertiente: por un lado las modificaciones que el hombre introduce directa y conscientemente y que tienen su mejor manifestación en el plano y morfología urbanos; de otro las que indirectamente se derivan de este mismo espacio construido y cuyas manifestaciones más significativas son la contaminación de la atmósfera urbana y un aumento térmico en relación a las zonas próximas, conocido como *isla de calor*.

La magnitud del proceso de urbanización ha convertido a las ciudades en auténticos laboratorios de experimentación de los efectos derivados de la acción del hombre sobre el medio natural, de sus impactos sobre la sociedad y de las medidas de adaptación y mitigación necesarias para combatirlos. Pensemos que, aunque el área ocupada por las ciudades, apenas representa el 2% de la superficie del planeta, su impacto, la denominada huella ecológica, se extiende mucho más allá de sus límites, convirtiéndose las ciudades en

auténticos «puntos calientes» a partir de los cuales se originan alteraciones ambientales que alcanzan la escala de lo global: las zonas urbanas consumen más del 75% de los recursos naturales y de ellas proceden más del 80% de las emisiones de gases a la atmósfera.

La climatología urbana se enfrenta al gran reto que supone caracterizar lo que algunos autores han definido como *el clima urbano ideal*, entendiendo como tal aquel que permite a los habitantes de las ciudades gozar de un aire limpio y una ausencia de estrés térmico y, al mismo tiempo, minimizar los impactos de la ciudad sobre el calentamiento global (Souch and Grimmond, 2006).

Es desde esta óptica que abordaremos el estudio de las relaciones entre la ciudad y el cambio climático y por ello hemos estructurado el trabajo en tres apartados: en el primero analizaremos, a escala global, las características del clima urbano, sus impactos y las medidas propuestas para su mitigación; en los otros dos, centraremos nuestro interés en España, tomando como ejemplo el área de Madrid, la zona más poblada de la península y en las que los estudios sobre clima urbano permiten plantear a escala local los aspectos tratados en el primer apartado.

## I. Cambio climático y clima urbano

**1. El cambio climático:** El cuarto informe del IPCC (IPCC, 2007a) concluye que el calentamiento global es inequívoco y que este calentamiento afecta a otros aspectos del clima como el calentamiento de los océanos, los modelos de circulación, la frecuencia de eventos extremos en las temperaturas, las precipitaciones y el viento. El informe indica, también, que este calentamiento se mantendrá a lo largo del siglo XXI, entre 1.8°C y 4°C en relación al periodo 1961-1990 y un aumento medio del nivel del mar entre 18 cm y 59 cm.

Uno de los aspectos más interesantes del calentamiento actual del clima es el papel de la acción del hombre sobre el mismo. Dos son las actuaciones más importantes que han contribuido al calentamiento: la primera, se relaciona con los cambios de uso del suelo, que han modificado los balances de radiación entre la superficie y la atmósfera; la segunda, las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles, que han aumentado de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI). Frenar el calentamiento es el gran reto al que se enfrenta la sociedad y las medidas más efectivas son aquellas que tiende a reducir el consumo energético y la sustitución de los combustibles fósiles por otros menos contaminantes.

**2. El clima urbano.** Las áreas urbanas reproducen, a escala local, los cambios e impactos observados a escala global y el clima urbano se define como *un clima regional modificado*. La «atmósfera urbana» presenta rasgos claramente diferenciados del resto, especialmente en las temperaturas y la composición del aire: las primeras, se modifican debido a todos los procesos energéticos que se producen en el interior de la ciudad y que comprende los flujos de radiación, asociados al calor latente y sensible, así como los flujos de calor almacenado en el suelo, los edificios y el generado por el hombre y sus actividades; por otro lado, la composición del aire se modifica debido a las emisiones de contaminantes procedentes de los focos de calor domésticos, industriales y al tráfico rodado.

**2.1. La isla de calor.** El asfalto, los edificios y el trazado de la red viaria modifican los balances de radiación entre el suelo y el aire, reducen la evaporación, aumentan la escorrentía superficial y disminuyen la velocidad del viento a la vez que aumenta la turbulencia. Todo ello se traduce en un clima urbano característico, cuyo rasgo más destacable es el aumento de las temperaturas en la ciudad en relación a las áreas vecinas más frías.

La isla de calor *isla de calor urbana o UHI (Urban Heat Island)* es el concepto que mejor define el clima urbano y en cualquier ciudad se pueden distinguir dos tipos: la primera, denominada *isla de calor atmosférica*, representa las diferencias en la temperatura del aire entre las zonas urbanas y las rurales; la segunda, denominada *isla de calor superficial*, indica la diferencia entre la temperatura registrada en los materiales urbanos (pavimento, aceras, tejados de los edificios etc.) y el aire situado encima de ellos (Voogt, J.A. and T.R. Oke, 2003). Entre ambas se pueden observar diferencias en los mecanismos de formación, las técnicas empleadas para su identificación y las medidas de mitigación (Cuadro 1).

**Cuadro 1  
CARACTERÍSTICAS DE LA ISLA DE CALOR ATMOSFÉRICA Y LA ISLA DE CALOR SUPERFICIAL**

	Isla de calor atmosférica	Isla de calor superficial
Ritmo temporal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Débil o inexistente durante el día;</li> <li>• Máxima en invierno y durante la noche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se mantiene durante el día y la noche</li> <li>• Máxima intensidad durante el día y en verano</li> </ul>
Método de identificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teledetección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estaciones meteorológicas fijas</li> <li>• Transectos</li> </ul>
Representación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapas de isotermas</li> <li>• Gráficos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imágenes térmicas</li> </ul>
Mitigación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Morfología y estructura urbana</li> <li>• Aumento zonas verdes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modificación tipo de materiales</li> </ul>

(EPA, 2008, modificado)

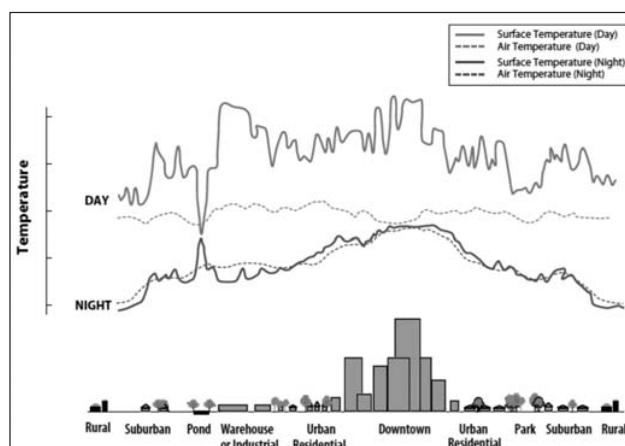


FIGURA 1: Evolución diaria de las temperaturas del aire y del suelo.  
Fuente: EPA, (2008).

Tanto una como otra están muy influenciadas por los usos del suelo y las diferentes tipologías urbanas presentes en la ciudad, lo que determina que durante el día la temperatura superficial presente importantes oscilaciones provocadas, tanto por los contrastes entre zonas expuestas al sol y las sombras creadas por los edificios, como por la gran variedad de materiales presentes en el escenario urbano; durante la noche ambas curvas siguen un ritmo similar con los picos más altos en las zonas de mayor densidad edificatoria (fig. 1).

**2.2. Impactos de la ciudad.** El aumento térmico y empeoramiento de la calidad del aire son los dos rasgos distintivos del clima urbano y los principales factores de riesgo, tanto por sus efectos directos sobre la mortalidad y morbilidad, como por el gran número de personas potencialmente expuestas.

La influencia de las altas temperaturas sobre la mortalidad es un hecho demostrado por numerosos estudios (García, J.C. y Alberdi, J.C., 2004; Fischer et al., 2004) y en todos ellos se observa la existencia de umbral crítico, a partir del cual la mortalidad aumenta (Fig. 2).

La isla de calor, además, influye de forma directa en el aumento del consumo de electricidad, especialmente en verano (figura 3): en los Ángeles, Akbari *et al.* (2001) calcularon que cada grado de incremento térmico por encima de 20°C, determina un aumento de 500 megavatios en la demanda de consumo eléctrico para el aire acondicionado; así mismo, que las concentraciones de ozono troposférico se incrementan en un 5% por cada grado de calentamiento por encima de los 22°C.

La contaminación del aire es otro de los rasgos característicos de la ciudad y un importante factor de riesgo para la población. La OMS (2009), estima que la contaminación del aire es responsable de 1,4% de las muertes mundiales (fig. 4) y la población potencialmente expuesta a niveles peligrosos de contaminación por NO<sub>2</sub>, partículas en suspensión y ozono troposférico supera el 30% de la población en las ciudades europeas.

Además, las ciudades contribuyen de forma clara al calentamiento global, ya que de ellas proceden más del 80% de los GEI vertidos a la atmósfera.

La isla de calor, sin embargo, es un fenómeno de carácter local, con escasa incidencia en el calentamiento global, tal y como se demuestra en numerosos trabajos científicos (Parker, 2004; Peterson, 2003; CLIVAR, 2009).

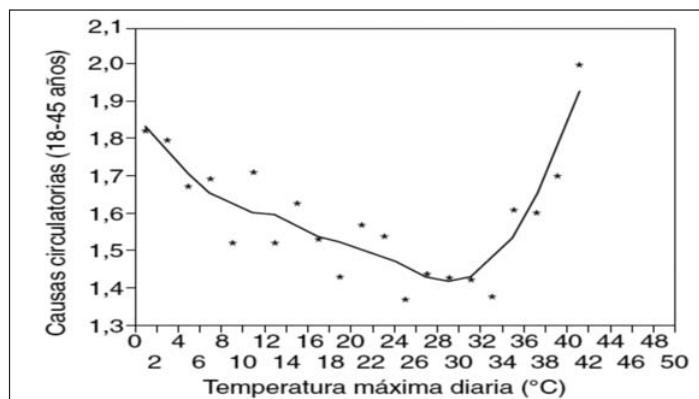


FIGURA 2. Relación entre mortalidad y temperatura máxima diaria.  
Fuente: Cristina Linares / Julio Díaz.

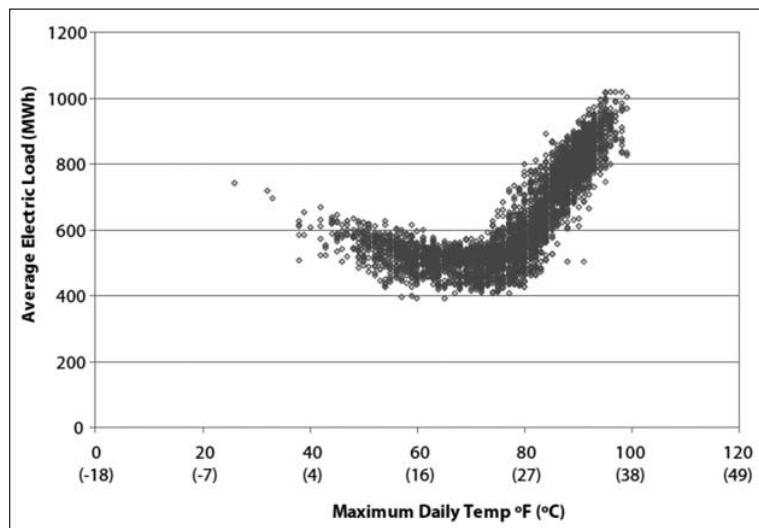


FIGURA 3. Relación entre aumento térmico y consumo de electricidad en Nueva Orleans.  
Fuente: (EPA, 2008).

### Deaths from urban air pollution

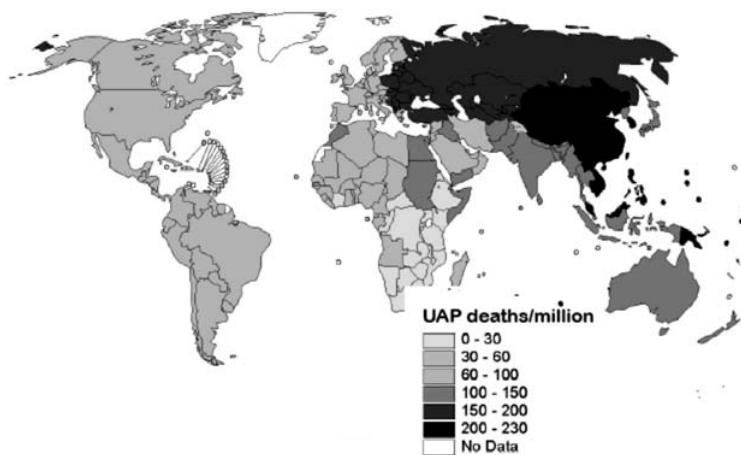


FIGURA 4: Mortalidad por contaminación urbana.  
Fuente: WHO, 2006.

### 3. Impactos del cambio climático en las ciudades

Las ciudades son especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático, especialmente al aumento térmico, al del nivel del mar y a la disminución de las disponibilidades hídricas. A pesar de ello, los estudios sobre los impactos potenciales del cambio climático a escala urbana son muy generales y limitados a un número muy reducido de ciudades, aunque en los últimos años están adquiriendo mayor importancia.

Un reciente informe, encargado por la OCDE (Hunt & Watkiss, 2007), señala que la vulnerabilidad a escala urbana depende del tamaño, de la localización y de la economía de la ciudad y que los impactos más relevantes serán los relativos al consumo energético, a la salud de la población y a la escasez de recursos hídricos.

— *La demanda energética.* Las ciudades son las principales consumidoras de energía y las principales emisoras de gases contaminantes a la atmósfera. El transporte, la calefacción, la iluminación y los aparatos de aire acondicionado consumen más del 50% de la energía en ciudades como Nueva York, Londres y Tokio (Un-Habitat, 2008), por lo que la demanda energética en las ciudades está muy ligada a las condiciones climáticas. A medio y largo plazo, las previsiones apuntan a un aumento del consumo de electricidad para refrigeración en verano, al tiempo que disminuirá la demanda de calefacción. La magnitud de estos efectos dependerá de la zona climática donde se ubique la ciudad, de las condiciones socio-económicas y de otros factores difícilmente cuantificables, pero existe un amplio consenso en considerar que la demanda de energía es la categoría más afectada por el cambio climático en las ciudades.

Informes realizados por la Agencia Europea de Medio Ambiente (2007), estiman que en los países del sur de Europa se prevén fuertes aumentos en la demanda eléctrica en verano, al tiempo que disminuirá el consumo para calefacción, especialmente en los países más fríos del norte. A título de ejemplo, en Atenas la demanda de electricidad en 2080 aumentará en un 30% durante el mes de julio, respecto a la actual (Giannakopoulos, 2006), mientras que en Londres, el aumento estimado es del 10% en 2050 y en torno al 20% en 2080 (LCCP, 2002); en Boston, los días en los que se necesitará aire acondicionado aumentarán un 24% y el consumo eléctrico, oscilará entre un 25% y un 40% (Kirshen et al., 2004).

— *La salud y el bienestar* de las personas es otro de los impactos derivados del cambio climático, que en las ciudades alcanza especial importancia por el elevado número de personas que en ellas habitan y por el envejecimiento de la población, especialmente en los países desarrollados. La influencia puede ser directa por los efectos fisiológicos del calor y el frío, o indirecta, a través del aumento de vectores patógenos que pueden desplazarse a latitudes más altas como consecuencia del calentamiento.

El aumento de la mortalidad y morbilidad asociada al calor es un hecho demostrado y el mejor ejemplo lo encontramos en la ola de calor del verano de 2003, que provocó más de 35 000 muertes en Europa. Es preciso tener en cuenta, sin embargo, que aunque es probable que haya aumentos en la mortalidad relacionada con el calor, estos podrían ser compensados por la disminución de la mortalidad relacionada con el frío. Como en el caso anterior la cuantificación presenta grandes incertidumbres por la capacidad de adaptación de la población y por la eficiencia de medidas de prevención como los sistemas de alerta, ya implantados en numerosos países.

— *Los recursos hídricos.* La escasez de agua es otro de los impactos relacionados con el cambio climático, cuyos efectos serán importantes en las áreas urbanas. Muchos

expertos aseguran que la falta de agua potable, además de constituir uno de los mayores problemas que aquejan actualmente a la humanidad, va a ser uno de los principales factores limitantes para la expansión urbana durante el siglo XXI. El aumento térmico provoca una mayor evaporación y, consiguientemente una disminución de las disponibilidades hídricas, incluso en el caso de que las precipitaciones no varíen.

En relación con la elevación del nivel mar y el aumento de episodios de precipitaciones intensas, las ciudades más vulnerables son las próximas a las zonas de costa y cauces fluviales: según datos del IPCC, la población expuesta a estos impactos se cifra en más de 1000 millones, aquellas que viven a menos de 100 km de las costas y en zonas de menos de 100 metros de altitud. Así mismo, indica que el aumento de 21 cm en el nivel del mar, previsto para 2100, dará lugar a la desaparición del 17.5% de la superficie de Bangladesh y supondrá el desplazamiento de entre 8 y 10 millones de personas en países como Egipto o Vietnam.

**4. Estrategias de mitigación.** Muchos gobiernos y entidades municipales están desarrollando leyes o incorporando normativas dirigidas a mejorar la calidad ambiental en el entorno propiamente urbano y disminuir las emisiones de contaminantes como medida de mitigación del cambio climático global. Las medidas tienen como objetivo disminuir las emisiones contaminantes con edificios más eficientes energéticamente, una movilidad urbana tendente a reducir el uso del vehículo privado y un urbanismo más acorde con las condiciones climáticas del entorno.

En todo este proceso, la disminución de la *isla de calor urbana* es uno de los objetivos prioritarios, especialmente en las ciudades situadas en climas cálidos.

Tres son las acciones propuestas (Akbari, H., 2009, EPA, 2008): aumento de las zonas verdes, transformación de las cubiertas de los edificios (*green roof/ cool roof*) y de los materiales y el color del pavimento.

- *Los árboles y la vegetación* contribuyen al enfriamiento mediante la sombra y la evaporación. La sombra reduce la radiación recibida por la superficie evitando la emisión de calor hacia el aire y los edificios circundantes; por su parte, el calor utilizado para la evapotranspiración, también, contribuye al enfriamiento. La combinación de ambos aspectos contribuye de forma notable a la atenuación de los picos térmicos y a una notable reducción de las temperaturas: en una zona arbolada puede alcanzar una temperatura 5°C más baja que una zona sin árboles; sobre una superficie irrigada entre 2°C y 3°C y sobre césped entre 1°C ó 2°C. De forma indirecta, este descenso térmico contribuye a una menor demanda de electricidad para el aire acondicionado de las viviendas y oficinas, que puede oscilar entre el 7% y el 47%; también, a la disminución de la contaminación y las emisiones de gases a la atmósfera y la captura directa del CO<sub>2</sub>, estimándose en 784,000 toneladas año la disminución de emisiones debida a la superficie arbolada de las ciudades en USA y en 24 millones de toneladas, la captura de CO<sub>2</sub> (Nowak et al., 2006).  
El aumento de la superficie vegetal, podría tener, también, consecuencias negativas, entre las que podemos destacar tres: la primera, el incremento de emisiones de elementos volátiles (VOC), precursores de la formación del ozono troposférico; la segunda, una mayor demanda de agua para irrigación y la tercera, la mayor humedad relativa del aire, que es un factor adicional de desconfort en las ciudades tropicales húmedas.