

Hacia unos servicios meteorológicos, medioambientales y climáticos urbanos integrados



por Sue Grimmond¹ y la Secretaría de la OMM

Desde hace algunos siglos, las personas cada vez se han agrupado más en grandes asentamientos, hasta el punto de que a día de hoy la población mundial urbana excede a la rural. Estas ciudades de tamaños variados se concentran en el 1 al 3 por ciento de la superficie terrestre. El número de ciudades con más de 5 millones de habitantes está creciendo: desde las 4 que había en la década de 1950 se espera que se alcancen las 59 en 2015. Muchas de estas ciudades se encuentran en países en desarrollo, y muchas tienen niveles de contaminación del aire muy elevados. En 2009, el 16 por ciento de la población mundial habitaba en ciudades con más de 5 millones de habitantes². Una buena parte del movimiento de población hacia las ciudades se atribuye a la gente joven, los menores de 35 años. Las ciudades presentan un vibrante entorno de innovación, interacción cultural y progreso económico. También atraen a los jóvenes debido a las oportunidades educativas y laborales.

Estas grandes entidades dependen en gran medida de su infraestructura subyacente, que incluye los sistemas de transporte (carreteras, ferrocarriles, caminos, bicicletas, etc.), el suministro eléctrico y de agua, los sistemas de recogida de basura y de drenaje, así como las redes de comunicación. La complejidad de estas infraestructuras, junto con su vulnerabilidad, se incrementa de forma no lineal con respecto a su

tamaño. Doblar el tamaño de una ciudad puede aumentar varias veces su complejidad y, por tanto, su vulnerabilidad. Las ciudades grandes y de crecimiento rápido son conductoras del crecimiento económico mundial (80% del futuro crecimiento)³, pero este crecimiento puede ser rápido y desequilibrado como ocurre en muchas de las nuevas poblaciones urbanas, que frecuentemente son pobres.

El dramático cambio demográfico asociado con el crecimiento de las ciudades tiene implicaciones de gran alcance. Algunas se perciben más por los residentes que por el deterioro de la calidad del aire. Las ciudades de países en desarrollo pobres no suelen imponer los tipos de restricciones con respecto a las emisiones que son más frecuentes en Norteamérica y Europa. Por ejemplo, Londres y Los Ángeles han puesto en marcha políticas y estrategias para frenar la contaminación atmosférica. Hasta hace poco, los cambios en la calidad del aire resultantes del incremento de la densidad de núcleos urbanos no habían sido cuantificados en detalle, y sus efectos sobre los climas regionales y sobre el calentamiento global están todavía por documentar de forma sistemática.

³ Göbel, B., 2004: Urbanization and Global Environmental Change. Programa Internacional sobre las Dimensiones Humanas del Cambio Ambiental Mundial (IHDP).

⁴ Naciones Unidas, 2012: UN's World Urbanization Prospects (Perspectiva de urbanización mundial de las Naciones Unidas). Revisión de 2011. División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas.

⁵ En este artículo, las megalópolis tienen un umbral de población de 5 millones pero frecuentemente se usa un umbral de 10 millones.

¹ Departamento de Meteorología, Universidad de Reading.

² Naciones Unidas, 2010: UN's World Urbanization Prospects (Perspectiva de urbanización mundial de las Naciones Unidas). Revisión de 2009. División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas.

Áreas urbanas en número⁴

La transición urbana que hay ahora en Asia involucra a una magnitud de población mucho mayor que en cualquier otra región del mundo y se está produciendo a una escala sin precedentes en la historia de la humanidad. México D. F., São Paulo, Seúl, Bombay, Yakarta y Teherán triplicaron su población entre 1970 y 2000. El 95% del crecimiento de la población urbana entre 2000 y 2030 se producirá en los países menos desarrollados. El 60% del crecimiento entre 2010 y 2040 ocurrirá en Asia (principalmente, en China e India).

Año	Número	Megalópolis (más de 5 millones ⁵)			Población urbana total (millones)
		Población mundial (millones)	Población en las regiones menos desarrolladas (millones)	Población en Asia (millones)	
1950	4	49	5	11	745
1980	28	211	115	103	1 753
2000	> 30	431	309	255	2 859
2002	39	394			
2005		515	371	305	3 198
2010		619	462	386	3 559
2015	59	732	551	454	3 927

La huella del tiempo y el clima urbanos

Hay dos mecanismos principales mediante los cuales las ciudades afectan de forma más profunda al clima local, regional y global. En primer lugar, las características urbanas como la morfología o las emisiones de calor continuarán influyendo en la temperatura local, en la circulación del aire, en la precipitación y en la frecuencia e intensidad de las tormentas. En segundo lugar, las emisiones y retroalimentaciones químicas variables como consecuencia de los contaminantes atmosféricos alterarán el tiempo y el clima, tanto localmente como a un nivel más general.

Muchas características de las ciudades pueden influir en el flujo atmosférico, en su régimen turbulento y en el microclima. Estas características pueden modificar el transporte, la dispersión y la deposición de contaminantes atmosféricos, tanto dentro como a sotavento de las áreas urbanas (como, por ejemplo, la lluvia ácida). Algunos de los ejemplos más importantes son:

- La distribución de edificios y otros obstáculos (o más genéricamente todos los elementos rugosos) afectan al régimen turbulento, a la velocidad y a la dirección del flujo.
- El uso extendido de materiales impermeables y la frecuente reducción de la vegetación en las áreas urbanas influye en el régimen hidrometeorológico y en la deposición de contaminantes.
- La liberación de calor antropogénico a causa de las actividades humanas (tales como el transporte y el calentamiento o enfriamiento de los edificios) afecta al régimen térmico.
- La liberación de contaminantes (incluidos los aerosoles) afecta a la transferencia de radiación, a la formación de nubes y a la precipitación.
- La geometría de las calles (“calles de tipo cañón” o “cañones urbanos”) influye en el régimen del flujo y en el intercambio de calor entre diferentes superficies (como el suelo y las paredes, por ejemplo).

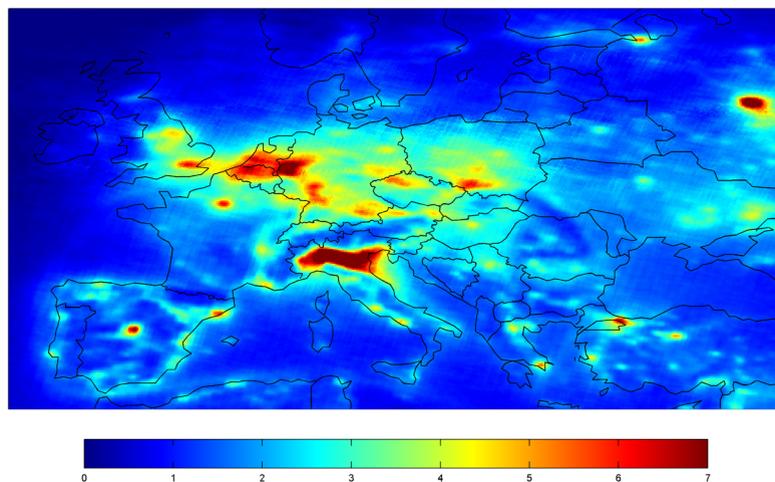
El resultado neto puede dar lugar a intensas islas de calor urbano, o sea, zonas de temperatura más elevada, que conllevan que las temperaturas del aire de las ciudades sean varios grados más calurosas que las de las áreas rurales cercanas. Estas diferencias de temperatura pueden perturbar la circulación regional del aire. Las configuraciones de viento pueden verse afectadas más si cabe debido a la presencia de edificios de gran altura cada vez más numerosos. Estas perturbaciones pueden conducir, a su vez, a niveles alterados de precipitación, contaminación atmosférica y frecuencia en las tormentas.

Además, la contribución de las ciudades al calentamiento global a través de las emisiones de gases de efecto invernadero es sustancial, en su mayor parte debido a penachos de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) desde las áreas urbanas o próximas a ellas, aunque sus intensidades de emisión *per capita* puedan ser ligeramente menores que en las áreas rurales.

Calidad del aire de las megalópolis y cambio climático

Varios estudios internacionales recientes han empezado a explorar esta problemática.⁶ Los objetivos de estos estudios son: evaluar el impacto de las megalópolis y de los núcleos de gran contaminación atmosférica sobre la calidad del aire a nivel local, regional y mundial; cuantificar los mecanismos de retroalimentación que interrelacionan la calidad del aire de las megalópolis, los climas locales y regionales, y el cambio climático mundial; y desarrollar herramientas mejoradas para predecir los niveles de contaminación del aire en las megalópolis.

⁶ Véanse MILAGRO (<http://www.mce2.org/>), MEGAPOLI (<http://megapoli.info>), CityZen (<https://wiki.met.no/cityzen/start>), ClearfLo (www.clearflo.ac.uk), WISE (Seúl), and SUIMON (Shanghái). En OMM/IGAC, 2012, está disponible un resumen mundial completo del impacto de las megalópolis en la contaminación del aire y del clima así como los proyectos correspondientes.



Steffen Beirle, compañero en el proyecto MEGAPOLI, Instituto Max Planck, Mainz (Alemania)

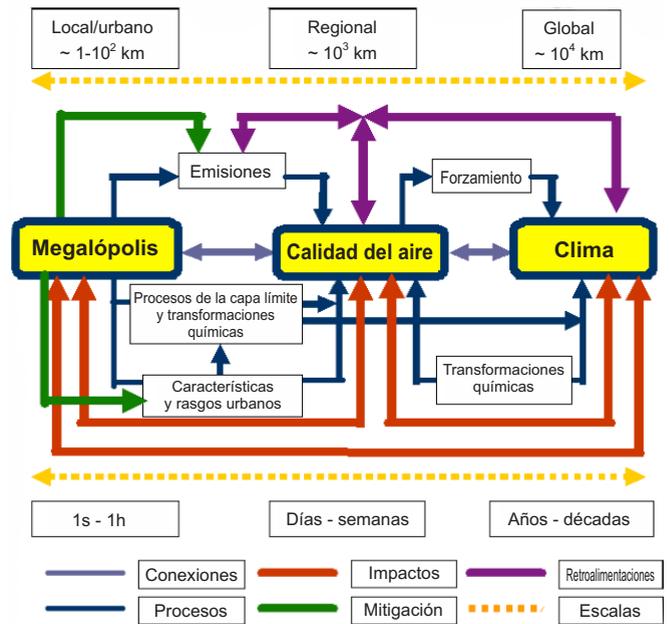
Densidad media de la columna de NO₂ troposférico (1 015 moléculas/cm²) a partir de las mediciones realizadas por el instrumento SCIAMACHY a bordo del satélite ENVISAT de la Agencia Espacial Europea, para los años 2003 a 2007.

Aunque se han llevado a cabo importantes avances, se hace necesario acometer nuevos estudios de investigación interdisciplinarios para aumentar nuestro conocimiento de las interacciones entre las emisiones, la calidad del aire y los climas regionales y mundiales. Hacen falta estudios para dirigir ambas investigaciones, la básica y la aplicada, y para extender las escalas espaciales y temporales conectando las emisiones locales, la calidad del aire y las condiciones meteorológicas con el clima y la química atmosférica global. La OMM ha creado el Proyecto de investigación de la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) sobre meteorología y medio ambiente urbanos (GURME)⁷ para ayudar a mejorar las capacidades de los Servicios Meteorológicos Nacionales para gestionar los aspectos meteorológicos y otros relacionados con la contaminación urbana.

Las megalópolis y otras regiones de alta densidad poblacional emiten cantidades significativas de contaminantes a la atmósfera. Los efectos locales son especialmente evidentes dentro de los límites de las megalópolis contaminadas bien conocidas, como Pekín y Delhi. Los contaminantes proceden habitualmente del transporte urbano, de la producción de energía y de otros tipos de industria, y ello tiene efectos sobre el entorno, que es perjudicial para la salud. Sin embargo, esta contaminación no está confinada dentro de los límites de las megalópolis mismas, sino que puede transportarse a grandes distancias, de forma que contribuye a la contaminación de fondo de todo el hemisferio.

No se comprenden plenamente las fuentes y los procesos que dan lugar a las altas concentraciones de los principales contaminantes, como el ozono, el dióxido de nitrógeno y la materia particulada, en áreas urbanas complejas y en sus alrededores. Esta circunstancia limita nuestra capacidad de predecir con exactitud la calidad del aire. En el estudio de MEGAPOLI⁸ se compararon tres grandes inventarios de emisiones globales junto con dos inventarios a nivel de ciudad.

Este estudio puso de manifiesto que las fuentes y los grados de emisión varían enormemente entre las megalópolis, en particular según las regiones geográficas. Por ejemplo, muchas de las emisiones de megalópolis en Europa y América están asociadas con el uso de las carreteras, mientras en Asia y África tienen su origen principalmente en la energía residencial.



Conexiones principales entre las megalópolis, la calidad del aire y el clima, con las principales retroalimentaciones, ecosistemas, vías de impacto del tiempo y la salud, y rutas de mitigación⁹. También se incluyen las escalas temporales y espaciales pertinentes.

Para poder pronosticar de qué forma el cambio climático mundial influirá en las ciudades se requieren estudios para comprender los procesos que tienen lugar a gran escala y a largo plazo como la temperatura y las corrientes oceánicas, los cambios en la cubierta terrestre y las variables atmosféricas que cambian lentamente. Los cambios en los océanos y en la superficie del suelo pueden producir fluctuaciones climáticas que potencialmente son predecibles a escala estacional e interanual. Para proporcionar productos enfocados a la predicción del clima se necesita desarrollar modelos de predicción de temperatura, lluvia y episodios de alto impacto como olas de calor y crecidas. A fin de atender las necesidades especiales de las ciudades, pueden generarse productos específicos de cambio climático reduciendo a la escala regional los modelos integrados clima-química o Tierra-sistema.

⁷ <http://mce2.org/wmogurme/>

⁸ Denier van der Gon y otros, 2011: Discrepancies Between Top-Down and Bottom-Up Emission Inventories of Megacities: The Causes and Relevance for Modeling Concentrations and Exposure. En: D. G. Steyn y S. T. Castelli (eds.), Air Pollution Modeling and its Application XXI, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security (vol. 4, págs. 194 a 204).

⁹ Baklanov, A. y otros, 2010: MEGAPOLI: concept of multi-scale modelling of megacity impact on air quality and climate, *Adv. Sci. Res.*, 4, págs. 115 a 120, doi: 10.5194/asr-4-115-2010.

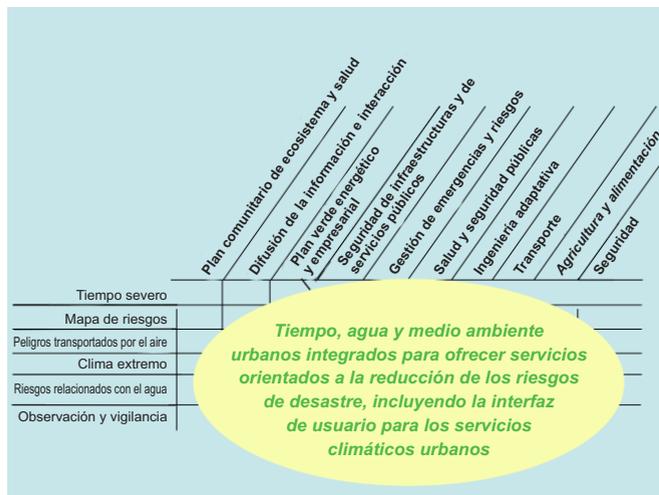


Inundación urbana en agosto de 2010 en Copenhague

Necesidades de investigación y estrategia para el futuro

Las necesidades y requerimientos de cada ciudad deberían ser informados a través de una identificación holística de impactos y de riesgos con el fin de poder trazar en un mapa las vulnerabilidades específicas de la ciudad e identificar los servicios que serían más beneficiosos. Las ciudades costeras tienen diferentes problemáticas con respecto a las ciudades del interior; de forma similar, las necesidades de un área urbana tropical son diferentes de las de las ciudades afectadas por una meteorología invernal severa. Los acuerdos para compartir datos entre instituciones metropolitanas constituyen un pilar fundamental para las autoridades a la hora de identificar los servicios prioritarios así como para diseñar y establecer las redes urbanas de observación que permiten captar los fenómenos de interés en la resolución espacial y temporal requerida.

Los servicios metropolitanos están duramente condicionados por los modelos acoplados de alta resolución para la predicción ambiental y que incluyen procesos, condiciones de contorno, flujos de energía y propiedades físicas realistas y específicos de las ciudades. Se necesitan unos nuevos sistemas de observación centrados en el medio urbano para ejecutar estos modelos y para proporcionar las predicciones de alta calidad que se usarán en estos nuevos servicios. Con respecto a los usuarios, es preciso utilizar unos medios de comunicación nuevos, enfocados a aquellos y personalizados de forma que aseguren que los servicios, consejos y avisos dan paso a una acción apropiada y a una respuesta que mejore el servicio. Se necesitan nuevas habilidades y capacidades para optimizar el uso de las nuevas tecnologías de cara a producir y a distribuir nuevos servicios en un medio urbano desafiante y desarrollado.



Plataforma de apoyo para construir sociedades resilientes al clima

Los Servicios Meteorológicos Nacionales son los encargados de establecer relaciones de trabajo sólidas con las autoridades municipales. De forma conjunta, los Servicios deberían identificar y acordar las prioridades para aunar tanto los servicios como los recursos necesarios a fin de prestar un servicio continuado y mejorarlo. Teniendo en cuenta la

importancia global de la urbanización y el número cada vez mayor de megalópolis y de grandes complejos urbanos, los Miembros de la OMM harían bien en incluir este fenómeno como una prioridad de alto nivel. Deberían considerar la mejor manera de incluir las necesidades singulares de un servicio climático en los entornos urbanos en el Marco Mundial para los Servicios Climáticos. Es posible que los Miembros de la OMM también deseen mostrar y compartir sus experiencias urbanas así como establecer las mejores prácticas sobre cómo servir al habitante urbano, que ahora se está convirtiendo rápidamente en el mayor interesado en los servicios urbanos meteorológicos, climáticos, hidrológicos y medioambientales afines.

Servicio meteorológico, medioambiental y climático urbano integrado

Hay un amplio abanico de conceptos que definen el desarrollo de un servicio meteorológico, medioambiental y climático urbano integrado. Estos conceptos hacen referencia a las condiciones a las que se enfrenta la población urbana, a los impactos de las condiciones ambientales en las megalópolis y en las sociedades urbanas, a la necesidad de contar con un marco legal y con interrelaciones claramente definidas con los organismos gubernamentales a fin de posibilitar la creación y el mantenimiento de dichos servicios, y a los avances científicos y tecnológicos necesarios para desarrollarlos e implantarlos.

También se debe considerar el suministro de información sobre el tiempo y el clima urbanos. Por ejemplo, la juventud es entusiasta en el uso de los nuevos métodos de comunicación; así pues, los medios sociales jugarán un papel cada vez más importante en el desarrollo y en la prestación de servicios meteorológicos y medioambientales afines.

Los modelos numéricos más adecuados para los sistemas operativos de predicción integrada urbana del tiempo, la calidad del aire y el clima constituyen la nueva generación de modelos de área limitada que cuentan con módulos acoplados de dinámica y química (son los denominados "modelos integrados de meteorología y química (IMCM)"). Estos modelos se han beneficiado de los rápidos avances en los recursos de cálculo además de una considerable investigación científica básica.¹⁰

Los modelos IMCM actuales de última generación abarcan procesos químicos y físicos interactivos, como por ejemplo aerosoles-nubes-radiación, acoplados con un núcleo dinámico no hidrostático y completamente compresible que incluye el transporte monótono de escalares y que permite la retroalimentación entre la composición química y las propiedades físicas de la atmósfera. Sin embargo, las simulaciones que utilizan resoluciones finas, dominios grandes y una química detallada en grandes períodos temporales para los aerosoles y para la fase gaseosa/acuosa aún son demasiado exigentes, desde el punto de vista del cálculo que requieren, debido a la enorme complejidad de los modelos. Por tanto, las aplicaciones meteorológicas y climáticas de los modelos IMCM

¹⁰ Zhang, Y., 2008: Online-coupled meteorology and chemistry models: history, current status, and outlook, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, págs. 2895 a 2932, doi: 10.5194/acp-8-2895-2008; y Baklanov, A. y otros, 2014: Online coupled regional meteorology chemistry models in Europe: current status and prospects, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, págs. 317 a 398, doi: 10.5194/acp-14-317-2014.

Ejemplos de colaboración: Shanghai¹⁴

El objetivo del Servicio Meteorológico de Shanghai (SMS) es el de pasar de la predicción del tiempo tradicional a la predicción de riesgos de desastre por causas meteorológicas, utilizando análisis de riesgos de amenazas de naturaleza múltiple y un enfoque reduccionista y de apoyo. Para realizar su labor, el SMS se centra en el riesgo de que se produzcan fenómenos meteorológicos de gran impacto en áreas específicas, considerando la naturaleza del fenómeno o del peligro asociado al mismo, así como la vulnerabilidad y la exposición de los emplazamientos. Esto mejorará la resiliencia de las infraestructuras ciudadanas así como su capacidad para gestionar los riesgos.

Figura: Los vínculos entre la exposición y la vulnerabilidad a los fenómenos meteorológicos y climáticos influyen en los impactos y en la posibilidad de desastres (riesgos de desastre).

Fuente: SMS, modificado de IPCC 2012



tienen que ser coherentes con la resolución espacial, el tamaño del dominio, la duración de la simulación y el grado de complejidad de los mecanismos químicos y de los relacionados con los aerosoles.

Un modelo típico que se ejecuta a escala meteorológica para un dominio urbano utiliza un número reducido de especies y de reacciones químicas debido a sus finas resoluciones horizontal y vertical, mientras que si se ejecuta a escala climática se usan generalmente resoluciones horizontales y verticales más amplias con mecanismos químicos razonablemente detallados.¹¹ Hay iniciativas para ampliar servicios relacionados de los grandes centros de predicción. Por ejemplo, el proyecto MACC-II¹² de vigilancia de la composición atmosférica y del clima (en fase de ejecución provisional) que se utiliza actualmente como servicio atmosférico preoperativo a escala mundial y europea, podría extenderse y reescalarse para las megalópolis y las aglomeraciones urbanas.

La representación de la superficie y de las subcapas urbanas ha experimentado un amplio desarrollo pero no hay un esquema capaz de tratar todos los intercambios que ocurren en la superficie.¹⁴ Para complicarlo más todavía, el aumento de la resolución de los modelos, combinado con el gran tamaño de los edificios urbanos en muchas ciudades, supone un reto para los límites de la comprensión actual. Entre las cuestiones más importantes se incluyen: ¿deberían resolverse directamente los edificios?, ¿qué simplificaciones pueden llevarse a cabo para que los cálculos sean manejables en un período de

modelización realista?, y ¿a qué escala pueden aplicarse los esquemas actuales de superficie del suelo y la física del modelo?

Se necesitan llevar a cabo estudios adicionales relacionados con los siguientes temas: los aerosoles orgánicos secundarios y sus interacciones con la nubosidad y la radiación, la asimilación de datos que incluya especies químicas y de aerosoles, los núcleos dinámicos con capacidad de eficiencia en el transporte de multitraxadores, y los efectos generales de los aerosoles en la evolución del tiempo y del clima. Todas estas áreas se interesan por el uso eficiente de los modelos en los sistemas informáticos de multiprocesadores en paralelo.

Los centros de cálculo que basan sus productos y servicios en los modelos IMCM necesitan seguir de cerca la evolución de las investigaciones y desarrollos de estos modelos acoplados, pero también tienen que interactuar con estas actividades. La investigación en materia de procesos físicos y químicos básicos y el desarrollo de modelos numéricos y de herramientas son componentes integrales y centrales de unos productos y servicios de predicción fiables y exactos. Sin embargo, debido a que el personal operativo no es plenamente responsable de estas actividades de investigación y desarrollo, sería preciso establecer colaboraciones fuertes y de larga duración entre investigadores y grupos operativos externos e internos. Estas colaboraciones deberían promover el desarrollo de métodos para medir las mejoras en las técnicas de predicción y sus beneficios.

Contribuidores de la Secretaría de la OMM

- Xu Tang, director del Departamento de Servicios Meteorológicos y de Reducción de Riesgos de Desastre.
- Alexander Baklanov, Programa de Investigación de la Atmósfera y el Medio Ambiente del Departamento de Investigación.

¹¹ Barth, M. C. y otros, 2007: Cloud-scale model intercomparison of chemical constituent transport in deep convection, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, págs. 4709 a 4731, doi: 10.5194/acp-7-4709-2007.

¹² <http://www.gmes-atmosphere.eu/>

¹³ Kootval, H., 2013: Programa de Servicios Meteorológicos para el Público – ¿Cuál es el futuro?, *Boletín de la OMM* 62(2) – 2013; y Xu Tang, 2006: La gestión de los riesgos de desastre en las megalópolis, *Boletín de la OMM* 55(4) – Octubre de 2006.

¹⁴ Grimmond, C. S. B. y otros, 2010b: The International Urban Energy Balance Models Comparison Project: First results from Phase 1, *J. of Applied Meteorology & Climatology*, 49, págs. 1268 a 1292, doi: 10.1175/2010JAMC2354.1; y Grimmond, C. S. B. y otros, 2011: Initial Results from Phase 2 of the International Urban Energy Balance Comparison Project, *International J. of Climatology*, 31, págs. 244 a 272, doi: 10.1002/joc.222.