

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TEMPERATURAS EXTREMAS PREVISTAS EN LA CIUDAD DE MURCIA

Elisa M^a Hernández García, Luis M^a Bañón Peregrín, Fernando Belda Esplugues
Delegación Territorial de AEMET en la Región de Murcia

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad es un buen ejemplo de alteración humana del medio natural. Modifica su balance radiativo, térmico, aerodinámico, de agua y humedad.

Las predicciones objetivas de temperaturas extremas para la ciudad de Murcia, están referidas al Observatorio de Murcia/Guadalupe, situado a 4 kilómetros del centro de la ciudad, en un entorno semi-rural. Este hecho despertó la inquietud de ciertos usuarios, con los que se discutió la conveniencia de referir esas predicciones a la propia ciudad.

Con el objetivo de desvelar el comportamiento térmico diferencial de la ciudad de Murcia respecto de sus alrededores no urbanos, así como de adaptar la predicción de temperaturas extremas a cada punto de la ciudad, surgió una beca de postgraduados convocada por AEMET para los ejercicios 2009 y 2010.

Durante el primer año, se diseñó una red termométrica en la ciudad de Murcia, instalándose 5 sensores bajo distintos factores urbanos, y un último sensor de referencia en el Observatorio de Murcia/Guadalupe. Se tomaron medidas durante todo el verano de 2009.

Los resultados de esta primera campaña mostraron que, de los factores urbanos que afectan a las temperaturas extremas (Text) en la ciudad, tales como la densidad de tráfico, tipo de materiales, distancia a las fuentes de humedad/frescura y nivel de enclaustramiento urbano, es este último el de mayor relevancia, a igualdad del resto de factores. La distancia a las fuentes de humedad/frescura mostró cierta importancia en el entorno cercano a las mismas, con gran dependencia de la dirección del viento reinante.



Figura 1. Distribución de la red termométrica de la campaña verano_2010. Fuente: Google

A la vista de estos resultados, y con el fin de aislar el efecto que el nivel de enclaus-tramiento urbano tiene sobre las Text urbanas, durante la campaña verano_2010, la red termométrica urbana se desplegó alejada de las fuentes de humedad/frescura y en pun-tos con moderada densidad de tráfico. Asimismo, se procuró abarcar un amplio rango de niveles de enclaus-tramiento urbano, desde estrechas calles entre altos edificios, a plazas bien amplias. Esta distribución de sensores es representativa de más del 80% de la ciu-dad de Murcia.

Con los datos de la campaña verano_2009, se desarrollaron métodos que adaptaban la predicción objetiva de Text en Murcia/Guadalupe, a cada una de las ubicaciones urba-nas de la red. Las diferencias de Text quedaron como función, tanto del nivel de enclaus-tramiento urbano del emplazamiento, como de otras variables meteorológicas previstas.

El principal objetivo de la segunda campaña, verano_2010, fue, por un lado, verificar y mejorar los citados métodos de ajuste y, por otro, implementar herramientas con las que calcular el nivel de enclaus-tramiento urbano en cada punto de la ciudad de Murcia, lo que permitiría el cálculo de la Text en dichos puntos.

2. DEL IDU AL SVF

Para cuantificar el nivel de enclaus-tramiento urbano de las ubicaciones de los senso-res de la red urbana, se realizaron varias aproximaciones:

1. En un primer momento, se diseñó y calculó un «Índice de densidad urbana» (IDU) mediante la relación entre la altura de los edificios y la anchura de la calle. Para el cálculo del IDU, se elegirían los ejes principales, calculando las distancias al edifi-cio más cercano, así como su altura, en las cuatro direcciones principales.

$$IDU = H1 / X1 + H2 / X2 + H3 / X3 + H4 / X4$$

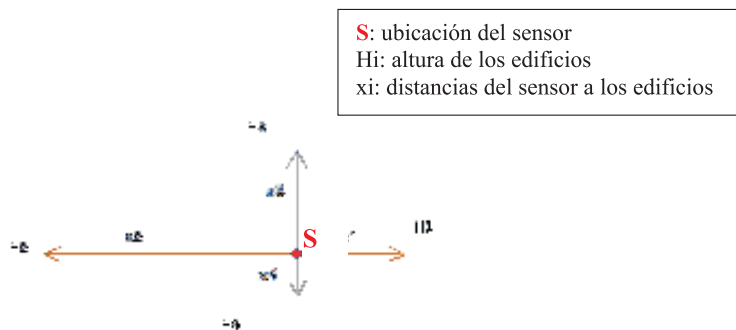


Figura 2. Esquema de representación de la fórmula de IDU

- Una segunda aproximación fue el cálculo del «Factor de Visión del Cielo» (Sky View Factor, SVF), estudiado por diversos autores como Steyn (1980), Oke (1981) y otros.

Ambas están estrechamente relacionadas: $IDU\ 18(1-SVF)$

3. SVF Y SU CÁLCULO

El factor de visión del cielo de un lugar (SVF) es un parámetro que indica la relación entre el área visible de cielo desde ese lugar, y el área cubierta por las estructuras urbanas.



Figura 3. SVF: relación entre el cielo que se ve y el que no se ve. Fuente: www.gvc2.gu.se

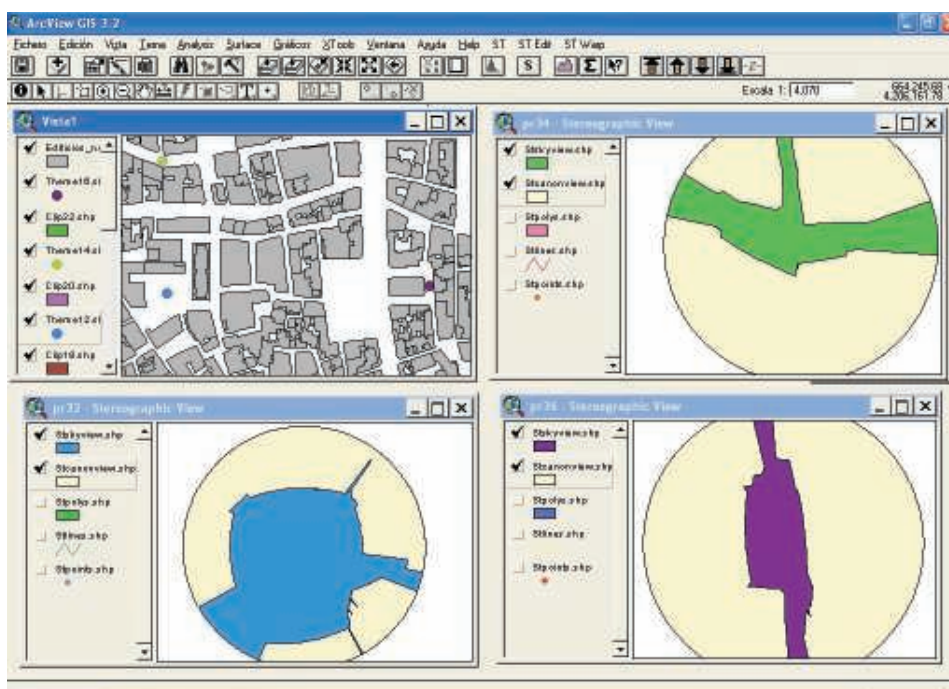


Figura 4. SVF obtenido en calles de la ciudad de Murcia con el uso de 3DSkyView.

Souza et al. (2003) desarrollaron un método de estimación del SVF, basado en Sistemas de Información Geográfica (GIS). La herramienta, llamada *3DSkyView Extension*, es principalmente un algoritmo escrito en *Avenue* para trabajar con *ArcView GIS 3.2* y su extensión *3D Analyst*. El método transforma coordenadas de polígonos en coordenadas estereográficas y ortográficas para permitir la estimación del SVF.

Esta herramienta, una vez implementada, permitió el cálculo del SVF en numerosos puntos de la ciudad de Murcia.

El *3DSkyView* debe ser ejecutado tantas veces como SVF's quieran calcularse. En desarrollo está el cálculo de SVF de un fichero multipunto, de manera que con una sola ejecución se obtengan sus valores en todas las calles de Murcia, a intervalos de 10 metros.

4. ADAPTACIÓN DE LA PREDICCIÓN DE TEXT(GUAD) A TEXT(URBAN_i)

4.1. El método

Una vez detectado, durante la campaña verano_2009, el comportamiento térmico diferencial de la ciudad de Murcia respecto de sus alrededores no urbanos, abordamos el reto de predecirlo.

Para ello se estimaron las relaciones funcionales existentes entre las diferencias de Text entre puntos de la red urbana (Text(urban_i)) y la estación de Murcia/Guadalupe (Text(Guad)), como función tanto de variables meteorológicas como urbanas.

$$\text{Text}(\text{urban}_i) - \text{Text}(\text{Guad}) = F_1(\text{vrb meteo}) + F_2(\text{vrb urban}) + F_{12}(\text{vrb meteo:vrb urban}) \quad (1)$$

El método para realizar el ajuste fue el MOS (Model Output Statistic), con el que, a partir de la predicción objetiva derivada del post-proceso de los resultados del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (CEPPM) y las diferencias de extremas observadas, se obtuvieron las relaciones funcionales, para, posteriormente, sustituir las variables predictoras por iguales valores previstos.

La aplicación utilizada para los cálculos estadísticos y el desarrollo de los modelos fue R, con la extensión de Modelos Lineales Generalizados, que son los que se utilizaron en la elaboración de las adaptaciones de las predicciones.

Los Modelos Lineales Generalizados, en su caso más simple, especifican una relación entre la variable respuesta Y (que sigue una dist. Normal) y un conjunto de variables predictoras Xs.

De todos los días de medida, se eligieron, aleatoriamente, 20 de cada mes para la elaboración del ajuste, y se reservaron 10 días de cada mes (días de control) para la verificación.

Las variables de la predicción objetiva derivada del post-proceso del CEPPM, usadas para la elaboración del modelo fueron:

- Nubosidad (00Z, 06Z, 12Z, 18Z)
- Intensidad del viento (00Z, 06Z, 12Z, 18Z)
- Dirección del viento (00Z, 06Z, 12Z, 18Z)

La elección de la red termométrica durante la campaña verano_2010, permitió simplificar la ecuación (1), al depender F_2 tan solo de SVF.

$$\text{Text}(\text{urban}_i) - \text{Text}(\text{Guad}) = F_1(\text{vrb meteo}) + F_2(\text{SVF}) + F_{12}(\text{vrb meteo:SVF}) \quad (2)$$

4.2. Ajuste de la predicción de las T máximas

Se planteó un ajuste de las diferencias entre las T máximas observadas en cada punto de la red urbana, y las observadas en Murcia/Guadalupe, como función de todas las variables meteorológicas, del SVF y de las posibles interacciones entre ellas.

$$T_{max}(\text{urban}) - T_{max}(\text{Guad}) = F_1(\text{vrb meteo}) + F_2(\text{SVF}) + F_{12}(\text{vrb meteo}:\text{SVF})$$

Se observó que estas diferencias mostraban un comportamiento muy parecido para todos los tipos de días durante el verano (F_{10}). Así mismo, se detectó una débil dependencia del efecto que SVF tuvo sobre las temperaturas para distintos tipos de días (F_{120}). Las máximas urbanas mostraron una clara dependencia de su Factor de Visión del Cielo. Un análisis detallado mostró una dependencia polinomial entre las diferencias $T_x(\text{urban}_i) - T_x(\text{Guadalupe})$ y el SVF.

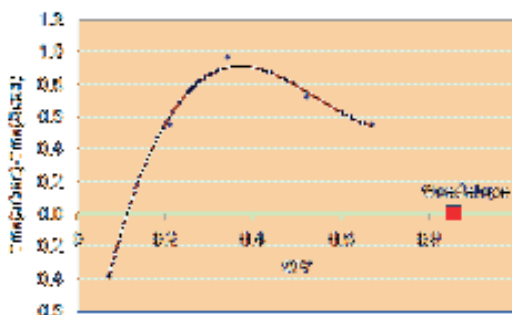


Figura 5. Diferencias de T media de las máximas urbanas con Murcia/Guadalupe, frente a su SVF.

Según esta distribución, las calles angostas entre grandes edificios, serían las que registrarían las máximas mas bajas dentro de la ciudad. A medida que aumentase el SVF, las máximas irían aumentando hasta un nivel medio (SVF en torno a 0.35), a partir del cual registrarían, de nuevo, máximas ligeramente mas bajas. Esta dependencia de las temperaturas medias con el SVF, confirmada en las dos campañas, podría tener su origen en el diferente ritmo de caldeoamiento y ventilación de las calles.

4.3. Ajuste de la predicción de las T mínimas

Se llevó a cabo un ajuste similar al de máximas, encontrándose una relación funcional entre las diferencias de $T_{min}(\text{urban}_i)$ en un punto i y $T_{min}(\text{Guadalupe})$, con la nubosidad durante la noche y de su SVF.

$$T_{min}(\text{urban}_i) - T_{min}(\text{Guad}) = 2.2 - 1.15SVF_i - 0.03N$$

Donde:

N es la nubosidad, en décimas, prevista para la noche del día siguiente.

La máxima intensidad de isla de calor urbana predecible, es de 2.2 °C para noches despejadas y calles de bajo factor de visión. A medida que aumenta tanto el SVF como la nubosidad nocturna, las diferencias se minimizan.

Un análisis de las temperaturas medias de cada ubicación urbana, frente a sus SVF's, muestra un comportamiento claramente lineal.

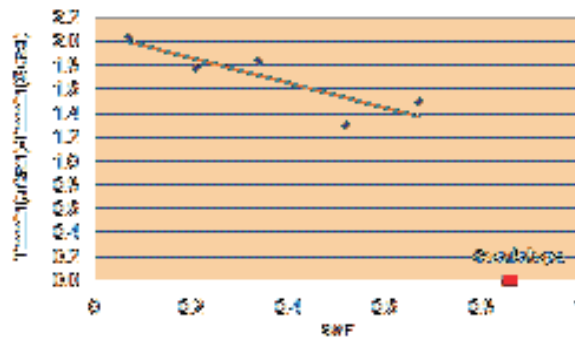


Figura 6. Diferencias de T media de las mínimas urbanas frente a su SVF.

5. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS PRODUCTOS

Uno de los objetivos finales del proyecto ha sido poner a disposición de los posibles usuarios, imágenes de la distribución espacial de Text previstas para el día siguiente, y sucesivos, de zonas de estudio, o bien, de toda la ciudad.

El proceso de elaboración de estos productos finales consta de varias acciones:

Acción 1: cálculo de los SVF. Previo a todas las demás acciones, deben calcularse los SVF de los puntos de la ciudad donde se quieran predecir las Text. En desarrollo está el cálculo de SVF en intervalos de 10 metros en todas las calles de Murcia.

Acción 2: lectura datos meteorológicos previstos. Comienza con la lectura de la predicción objetiva del post-proceso del CEPPM, recibida sobre las 05 UTC. De estos datos, se seleccionan los de temperaturas extremas y nubosidad previstos a las 00 y 06 UTC del día siguiente, para Murcia.

Acción 3: adaptación de las temperaturas extremas a cada punto de la ciudad en función de su SVF y de variables meteorológicas previstas.

Acción 4: elaboración de mapas con la distribución espacial de extremas en la ciudad de Murcia. Con las ecuaciones de ajuste resueltas (acción 3) y los SVF del área de interés (acción 1), se generan en un GIS (ArcView 3.2) los mapas de distribución de temperaturas extremas.

Acción 5: distribución de productos. Una vez elaborados los mapas, se incorporan al servidor Web o se distribuyen a los usuarios interesados.

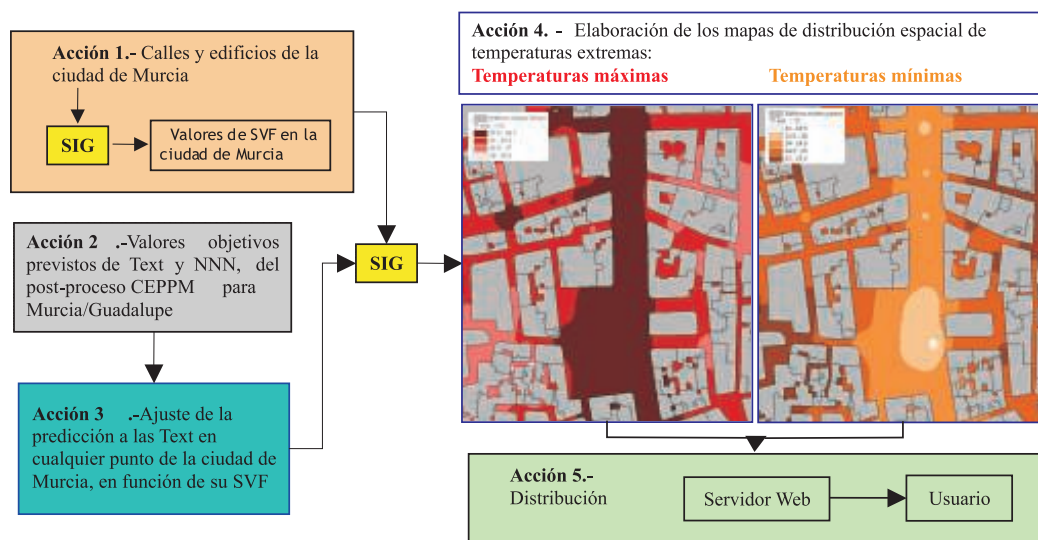


Figura 7. Proceso de elaboración de la distribución espacial de Text en la ciudad de Murcia

6. AGRADECIMIENTOS

Resulta obligado el agradecimiento a todo el personal de la Delegación Territorial de AEMET en la Región de Murcia, implicado en este proyecto. A Macario Castillo y Pedro López por su ayuda con la red urbana, a Juan Esteban Palenzuela, Juan Andres Garcia y Jose Antonio Parodi, por el imprescindible apoyo técnico y a Pascual Marín y Federico Rivas por el apoyo informático. Agradecer, especialmente, el apoyo del Ayuntamiento de Murcia, tanto en el despliegue de la red, como por los datos de calles y edificios suministrados por el Jefe del Servicio de Medio Ambiente, Francisco Carpe. Y miles de gracias a Juan Manuel Martínez, del citado Servicio, sin cuyo apoyo todo hubiera sido mas difícil.

7. REFERENCIAS

- GRIMMOND, C.S.B.; POTTER, S.K.; ZUTTER, H.N.; SOUCH, C. 2001. *Rapid methods to estimate sky view factors applied to urban areas*. USA
- HOLMER, B.; POSTGARD, U.; ERIKSSON, M. 2000. *Sky view factors in forest canopies calculated with IDRISI*. Sweden.
- OKE, T.R. 2006. *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*. WMO.
- OKE, T.R. 1987. *Boundary Layer Climates*. University Paperbacks. USA.
- OKE, T.R. 2004. *Siting and Exposure of Meteorological Instruments at Urban sites*. 27th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application.

- RZEPA, M. 2009. *The map of sky view factor in the center of Lodz*. Poland.
- SAZ, M.A. 2006. *Nuevas técnicas para el estudio del clima basadas en los SIG: la isla de calor en la ciudad y atlas climáticos interactivos*. Universidad de Zaragoza.
- SOUZA, L.; RODRIGUES, D.; MENDES, J. *A 3D-GIS extensión for Sky View Factors assessment urban environment*. University of Minho y São Paulo State University.
- SOUZA, L.; RODRIGUES, D.; MENDES, J. *The 3D SkyView Extension: an urban geometry access tool in a geographical information system*. University of Minho, São Paulo State University.
- SOUZA, L.; RODRIGUES, D.; MENDES, J. 2003. *Sky View Factors estimation using a 3D-GIS extension*. University of Minho, São Paulo State University.
- SOUZA, L.; RODRIGUES, A. 2006. *Applying GIS Tools for analysing urban thermal environment*. University of São Paulo, São Paulo State University.
- UNGER, J. 2009. *Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database*. University of Szeged, Hungary.