

Efectos de tormentas de polvo en zonas urbanas generadas por vientos de Santa Ana

Dust storm effects in urban areas by Santa Ana winds

Christian Adrián Álvarez-Báez, Noel Carbajal, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica
Luis Felipe Pineda-Martínez, Universidad Autónoma de Zacatecas

RESUMEN. Se realizó un estudio para conocer el impacto de las tormentas de polvo causadas por los vientos de Santa Ana en octubre del 2007 sobre zonas urbanas. Esto fue logrado a través del uso del modelo atmosférico Weather Research and Forecasting acoplado con un módulo químico (WRF-CHEM). En este artículo se muestra un análisis enfocado a las ciudades de San Diego, Tijuana y Mexicali. La llegada de los vientos de Santa Ana a las costas de California y Baja California el 21 de octubre del 2007 trajo consigo la fuerte modificación de las variables atmosféricas, como aumentos de temperatura e importantes caídas de humedad relativa, además de causar tormentas de polvo. El viento transportó material particulado con diámetro menor a μm (PM10) elevando las concentraciones de éste a valores nocivos sobre zonas urbanas. Las poblaciones de Tijuana, San Diego y Mexicali estuvieron expuestas a concentraciones promedio de $222.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $207.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $377.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, muy por encima de los valores permisibles según la Norma Oficial Mexicana. Las concentraciones de polvo total sobre estas ciudades lograron superar los $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en varias ocasiones durante el evento, siendo esto un riesgo en aspectos de seguridad debido a la baja visibilidad.

PALABRAS CLAVE: tormentas de polvo, PM10, modelación numérica, zonas urbanas, contaminación atmosférica, WRF-CHEM

ABSTRACT. A research was carried out in order to know the impact of dust storms caused by Santa Ana winds, in October 2007, on urban areas. This was achieved through the use of the atmospheric model Weather Research and Forecasting coupled with a chemical module (WRF-CHEM). In this article an analysis focused on the cities of San Diego, Tijuana and Mexicali is shown. The arrival of the winds of Santa Ana to the coasts of California and Baja California on October 21, 2007 brought about a large modification of atmospheric variables, such as temperature increase and an important decrease of relative humidity, and the production of sandstorms. The wind transported particulate material with diameter less than $10 \mu\text{m}$ (PM10) raising the concentrations to harmful values over urban areas. The populations of Tijuana, San Diego and Mexicali were exposed to average concentrations of $222.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $207.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $377.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, well above the allowed values according to the Official Mexican Standard. The concentrations of total dust on these cities managed to overcome $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ several times during the event, becoming a risk in terms of security, dangerous because of the low visibility.

KEYWORDS: dust storms, PM10, numerical simulation, urban areas, atmospheric pollution, WRF-CHEM

Introducción

Cada año se generan tormentas de polvo en zonas áridas y semiáridas del mundo (Middleton, 2017). Las zonas áridas de gran parte del mundo, tales como China, Suroeste de Asia, Australia, África, Sudamérica o el suroeste de Estados Unidos, son lugares con frecuentes tormentas de polvo. Las tormentas de polvo pueden tener un impacto directo en la salud humana e incluso influenciar los patrones climáticos y el balance de energía del sistema terrestre (Shao et al., 2011a; Middleton, 2017). El polvo generado durante estos eventos puede transportar alérgenos y patógenos a grandes distancias de la fuente (Goudie y Middleton, 2006) como sucede con el polvo emitido desde el Desierto del Sahara, que logra viajar enormes distancias alcanzando Europa, el Caribe, Estados Unidos, e incluso América Central y Sur (Harriman, 2014). Las zonas urbanas de México no son ajenas a los efectos de las tormentas de polvo. Se ha localizado la formación de tormentas de polvo que logran afectar zonas urbanas como el centro del país y el noroeste (Pineda-Martínez et al., 2011; Álvarez, 2017).

En el noroeste de México se observaron tormentas de polvo causadas por un fenómeno meteorológico conocido como vientos de Santa Ana durante octubre del 2007 (Fig. 1). La alta intensidad de estos vientos junto a la fuerte modificación de las variables atmosféricas durante su paso, han sido capaces de ocasionar incendios forestales y tormentas de polvo (Westerling et al., 2004). Este fenómeno sucede durante las épocas de otoño e invierno afectando tanto el suroeste de Estados Unidos como el noroeste de México (Jones, 2010). Su formación yace en un sistema de alta presión que se desplaza desde el Pacífico a tierra adentro (Lynn y Svejovsky, 1984) hasta alcanzar el desierto "The Great Basin" en Estados Unidos causando un flujo anticiclónico que redirecciona el viento del desierto aproximadamente perpendicular a las costas de California y la península de Baja California (Sommers, 1978). Este viento puede intensificarse con la presencia de un sistema de baja presión al sur de la península de Baja California. La compleja topografía presente en el Suroeste de Estados Unidos, logra canalizar el viento aumentando su intensidad y su temperatura mediante un proceso adiabático de calentamiento por compresión que le da una extremadamente baja humedad (Castro, 2003).

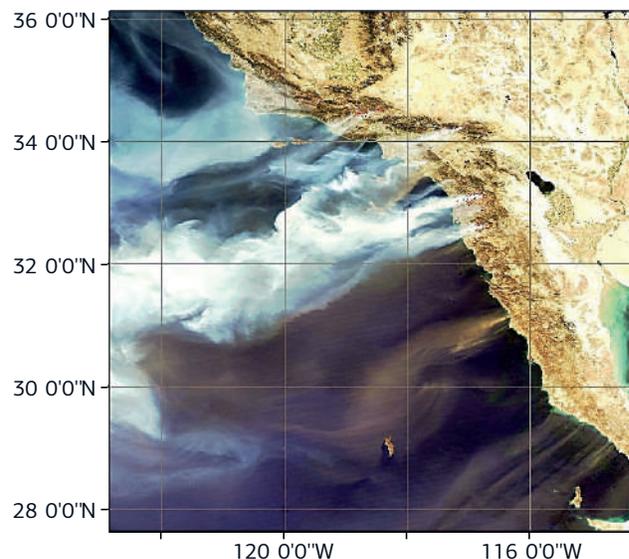


FIG. 1 Evento de vientos de Santa Ana con tormentas de polvo e incendios forestales el 22 de octubre del 2007. Imagen de Moderate Resolution Spectroradiometer (MODIS) del satélite Aqua de la NASA.

Metodología

Se identificaron diversos eventos de vientos de Santa Ana con presencia de tormentas de polvo a través del análisis de imágenes satelitales MODIS del periodo 2002-2016. Para este trabajo se seleccionó un evento ocurrido el 22 de octubre del 2007. Las fuentes de emisión de polvo fueron correlacionadas con el tipo de uso de suelo y vegetación presente en el área. Se realizaron las simulaciones del evento con el modelo Weather Research and Forecasting (WRF), un modelo de predicción climática y atmosférica versión 3.6.1 (Skamarock et al., 2008) que fue acoplado con un módulo químico (WRF-CHEM) que permite la simulación de emisión, transporte, mezcla y transformación química de gases traza y aerosoles (Grell et al., 2005), de esta manera fue posible modelar las condiciones meteorológicas y la emisión de polvo durante el evento seleccionado.

La configuración del dominio fue una malla de 100 x 100 puntos con una resolución espacial de 9 km centrado en la latitud 32.21°, longitud -116.08°. Los datos de entrada utilizados para el modelo pertenecen a la NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses (NCEP, 2016) con resolución espacial de 1° y temporal de 6 horas. Los datos estáticos utilizados provienen de la USGS, con 33 categorías de uso de suelo y topografía a una resolución de 30 segundos. El periodo de simulación comenzó el 19/10/2007 a las 0:00 UTC y terminó el 24/10/2007 a las 0:00 UTC.

Las parametrizaciones físicas fueron: el esquema WRF Single-moment 3-class (Hong et al., 2004) fue escogido para la microfísica, para la radiación de onda larga y onda corta se escogieron RRTM y Dudhia (Mlawer et al., 1997; Dudhia, 1989), para el modelo de superficie se eligió el esquema Pleim-Xiu (Pleim y Xiu, 2003) en combinación con el modelo Asimétrico de Convección versión 2 para la capa límite planetaria (Pleim, 2007). Para las configuraciones químicas, bajo las recomendaciones de Su y Fung (2015), se optó por el esquema de polvo Shao2011 (Shao et al., 2011b) en combinación con el módulo simple GOCART (Chin et al., 2000).

Resultados

La llegada de los vientos de Santa Ana el 21 de octubre causó numerosos incendios y la emisión de polvo en distintas áreas. El desplazamiento de un sistema de alta presión desde el océano Pacífico hasta el desierto "The Great Basin" en Estados Unidos causó la formación de vientos geostroficados desde el noreste con una dirección perpendicular a las costas de California y Baja California, donde la presencia de una topografía compleja continuó canalizando y acelerando el viento. Aunado a estas condiciones, la presencia de una tormenta tropical al sur de la península de Baja California, aumentó el gradiente de presión a lo largo de la península causando una mayor intensificación del viento con la misma dirección perpendicular.

La llegada de los vientos de Santa Ana provocó cambios en diversas variables atmosféricas como la temperatura y la humedad relativa en el área (Fig. 2). En Tijuana el cambio de dirección del viento hacia el noroeste fue acompañado de un aumento de intensidad en el día 21 de octubre pasando de 0.63 m/s a 15.68 m/s entre las 8:30 y las 20:00 UTC. Al mismo tiempo la temperatura aumentó de los 13°C a los 24°C para continuar oscilando entre los 19°C y los 25°C los siguientes dos días hasta alcanzar un pico de 30°C el 23 de octubre. El aire transportado desde el desierto por los vientos de Santa Ana causó una caída de humedad relativa desde valores cercanos al 100% hasta valores por debajo del 10%. La humedad relativa en Tijuana osciló entre el 13% y el 8% durante los días 21, 22 y 23 de octubre, habiendo una ligera recuperación al final del último día.

En San Diego la intensificación fue menor, aumentando desde 0.11 m/s hasta los 7.47 m/s, esto sucedió entre las 17:00 y las 23:00 UTC del 21 de octubre. El aumento de temperatura se hizo presente

incrementando de 19.9°C hasta 27.9°C entre las 17:00 y las 21:00 UTC. Desde las 12:00 UTC comenzó a haber un descenso de humedad relativa de 73.93 % hasta 8.41 % a las 21:00 UTC oscilando entre 8 % y 13 % durante los siguientes días.

En Mexicali la intensificación del viento fue relativamente gradual comenzando a las 4:00 UTC con 2.66 m/s alcanzando un pico de 10.15 m/s a las 19:00 UTC del 21 de octubre. La humedad relativa experimentó una caída desde el 45 % 08:00 UTC hasta el 10.71 % a las 23:30 UTC mismo día. La temperatura osciló entre los 30°C y los 15°C durante los tres días con más relación con el ciclo día-noche.

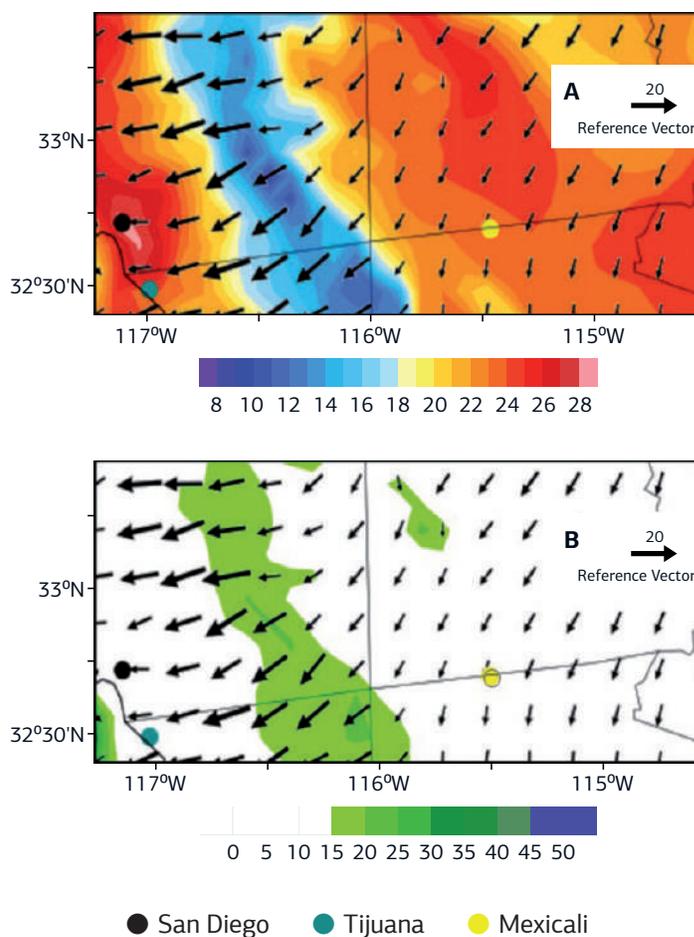


FIG. 2 a) Temperatura (°C) con vectores de viento y b) Humedad relativa (%) con vectores de viento. Ambas variables en el 22 de octubre a las 20:00 UTC.

La influencia de los vientos de Santa Ana sobre zonas urbanas también se vio reflejada en el aumento de la concentración de las partículas con diámetro menor a 10 μm (PM₁₀). En Tijuana la concentración de PM₁₀ durante el comienzo del día 21 de octubre era de 1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

A las 10:00 UTC se dio un aumento de la concentración de PM10 de $4.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta $555.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 15:00 UTC. La concentración de PM10 no descendió de $279 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el resto del día y a las 02:00 UTC del 22 de octubre un segundo pico alcanzó los $518 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante todo el 22 de octubre la concentración de PM10 permaneció sobre los $136 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante el 23 de octubre la concentración aumentó hasta alcanzar un tercer pico de $451 \mu\text{g}/\text{m}^3$ manteniendo concentraciones superiores a los $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones descendieron durante la segunda parte del día.

En San Diego las concentraciones de PM10 eran de $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ al comienzo del 21 de octubre para experimentar un aumento entre las 13:00 UTC y las 16:00 UTC que llevó a un primer pico de $466 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentración no descendió de los $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante ese día e incluso incrementó hasta alcanzar un segundo pico de $492 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 00:00 UTC del 22 de octubre. Durante este día las concentraciones descendieron hasta $129 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El 23 de octubre las concentraciones aumentaron hasta alcanzar los $388 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 6:00 UTC. El resto del día las concentraciones descendieron gradualmente.

En Mexicali la concentración de PM10 el 21 de octubre no superaba los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A las 4:00 UTC comenzó un incremento de la concentración de $40.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $473 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 10:00 UTC. La concentración continuó incrementando durante el 21 de octubre donde se observó un pico de $796 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentración de PM10 descendió hasta $538 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pero continuó aumentando hasta alcanzar los $796 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 02:00 UTC del 22 de octubre. A lo largo del 22 y 23 de octubre la concentración de PM10 descendió gradualmente sin lograr bajar de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

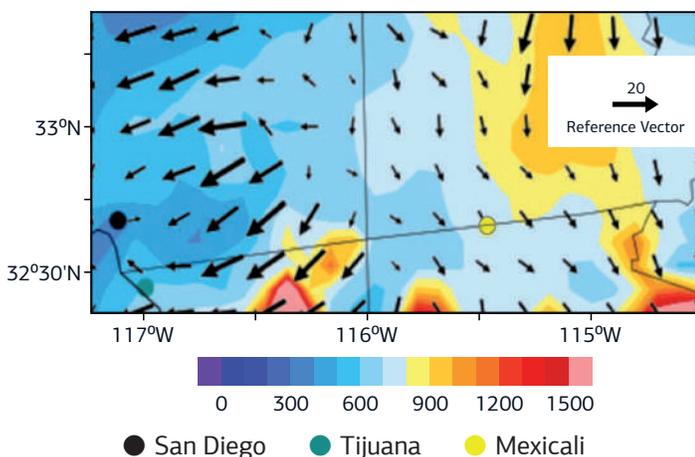


FIG. 3 Concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y vectores de viento en el día 22 de octubre a las 05:00 UTC.

Discusión

La emisión de PM10 ha sido una preocupación constante debido a su capacidad para permanecer suspendidas en la atmósfera el tiempo suficiente para poder ser inhaladas. La intensificación del viento durante el evento analizado lo llevó a velocidades de 12 m/s sobre la superficie de regiones áridas y semiáridas, permitiendo así la erosión del suelo vulnerable y la emisión de polvo. El polvo fue transportado a la atmósfera, alcanzando largas distancias mar adentro en el océano Pacífico. Durante las tormentas de polvo de octubre del 2007, este material suspendido fue transportado sobre zonas urbanas como San Diego, Tijuana y Mexicali, exponiendo a la población a sus efectos.

El PM10 puede depositarse en el tracto respiratorio y a pesar de ser la desintegración de partículas más grandes de la corteza terrestre, también pueden ser vehículo de polen, esporas o virus ajenas al área a la que llegaron (NOM, 2014) y otros organismos como bacterias y fungi (Kellogg et al., 2004). Diversos estudios han logrado asociar la contaminación atmosférica con enfermedades como asma, irritación pulmonar, neumonía y problemas del corazón (Sun et al., 2013). La tormenta de polvo de agosto de 2005 en Bagdad causó el ingreso a hospitales de cerca de 1000 personas por sofocación (Goudie y Middleton, 2006). En el oeste de África, cada año suceden epidemias de meningitis afectando a 200,000 personas, lo cual está relacionado con la temporada de Hartmatan, en la cual es común el transporte de polvo (Sultan et al., 2005). La concentración promedio durante los tres días del evento en Tijuana fue de $222.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en San Diego fue de $207.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en Mexicali fue de $377.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estas concentraciones superan el límite establecido por la Norma Oficial Mexicana que marca $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como el máximo permisible en 24 h (NOM, 2014).

Además del claro impacto en la salud en la población, la visibilidad es otro aspecto fuertemente afectado durante las tormentas de polvo. La baja visibilidad durante esta clase de eventos ha causado el cierre de aeropuertos y accidentes aéreos (Prakash et al., 2015; Chung y Yoon, 1996) como el ocurrido en mayo del 2002 donde un avión de la aerolínea EgyptAir se estrelló cerca de Tunis. En noviembre de 1991 ocurrió una serie de accidentes de tráfico que incluyó 164 vehículos durante una tormenta de polvo en California (Pauley et al., 1996). En Arizona sucedieron 32

accidentes múltiples como consecuencia de la baja visibilidad durante una tormenta de polvo entre 1968 y 1975 (Brazel y Hsu, 1981).

En la Figura 4, se observan las concentraciones de polvo total, que incluye todas las partículas en suspensión (PST) modeladas con diámetro menor a $20 \mu\text{m}$, sobre algunas de las zonas urbanas afectadas durante los tres días del evento de octubre del 2007. Las concentraciones más altas se pueden encontrar en Mexicali, donde se modelaron dos picos sobre $1600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ debido a su cercanía a los desiertos del suroeste de Estados Unidos, mientras que San Diego y Tijuana tienen concentraciones similares, debido a su cercanía; en ambas ciudades se alcanzan concentraciones de hasta $1200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

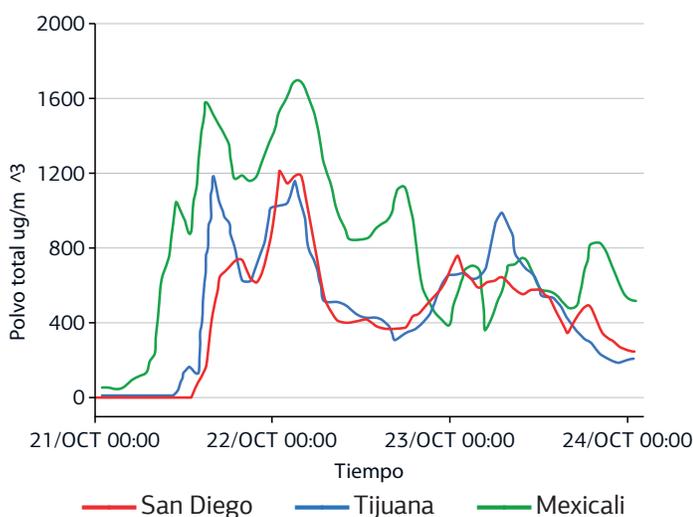


FIG. 4 Concentraciones de polvo total ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en las ciudades de San Diego, Mexicali y Tijuana durante los días 21, 22 y 23 de octubre del 2007.

Conclusiones

El 21 de octubre del 2007 se hicieron presente las condiciones necesarias para la formación de los vientos de Santa Ana. El pasaje de estos vientos sobre las costas de California y Baja California modificaron fuertemente las variables meteorológicas en el área causando caídas de humedad extremas en zonas urbanas como San Diego, Tijuana y Mexicali, entre otras. También se dio un aumento de temperatura en la costa. Estos dos fuertes cambios dieron lugar a las condiciones idóneas para la generación de incendios forestales. Durante el evento, la velocidad del viento tuvo un importante incremento que llevó a la erosión del suelo vulnerable en zonas áridas y semiáridas,

donde el viento fue capaz de transportar polvo, por la atmósfera, a largas distancias. En su trayecto, la concentración de PM_{10} de zonas urbanas aumentó significativamente hasta alcanzar valores nocivos para la salud de la población. Durante el evento estudiado, Mexicali alcanzó concentraciones de PM_{10} superiores a los $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$, San Diego superó los $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Tijuana por encima de $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es posible que estas concentraciones hayan tenido un fuerte impacto en la visibilidad, siendo esto un riesgo latente para unidades aéreas y tráfico terrestre. Las concentraciones de PM_{10} alcanzadas sobrepasan largamente los estándares permisibles de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ marcados por la Norma Oficial Mexicana.

REFERENCIAS

- Álvarez, C., (2017) Vientos de Santa Ana y tormentas de polvo en el noroeste de México. Tesis de Maestría, IPICYT. San Luis Potosí, Mexico.
- Brazel A, Hsu S (1981) The climatology of hazardous Arizona dust storms. In: Péwé TL (ed) 1981 Desert dust. Geol Soc Am Spec Pap 186:293-303
- Castro, R. (2003). Evolución y extensión de los vientos Santa Ana de febrero de 2002 en el océano frente a California y la Península de Baja California Evolution and extension of the Santa Ana winds of February 2002 over the ocean off California and the Baja California Peninsula, 29(February 2002), 275-281.
- Chin, M., Ginoux, P., Kinne, S., Torres, O., Holben, B.N., Duncan, B.N., Martin, R.V., Logan, J.A., Higurashi, A., Nakajima, T., (2002). Tropospheric aerosol optical thickness from the GOCART model and comparisons with satellite and Sun photometer measurements. J. Atmos. Sci. 59, 461-483
- Chung, Y. S. and Yoon, M. B.: On the occurrence of yellow sand and atmospheric loadings, Atmos. Environ., 3013, 2387-2397, 1996.
- Dudhia, J. (1989). Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 46(20), 3077-3107.
- Goudie AS, Middleton NJ (2006) The Nature and Importance of Dust Stormes en Desert Dust in the Global System. Springer, Heidelberg
- Grell, G. A., Peckham, S. E., Schmitz, R., Mckeen, S. A., Frost, G., Skamarock, W. C., & Eder, B. (2005). Fully coupled " online " chemistry within the WRF model.
- Harriman, L. (2014) Climate Change Implications and Use of Early Warning Systems for Global Dust Storms en

- Reducing disaster: Early warning systems for climate change, ed. A. Singh, and Z. Zommers, 153pp. London: Springer.
- Hong, S. Y., Dudhia, J., & Chen, S. H. (2004). A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Monthly Weather Review*, 132(1), 103-120.
- Jones, C. (2010). Forecast Skill of Synoptic Conditions Associated with Santa Ana Winds in Southern California. *American Meteorological Society*, 138, 4528-4541. <http://doi.org/10.1175/2010MWR3406.1>
- Kellogg CA, Griffin DW, Garrison VH, Peak HK, Royall N, Smith RM, Shinn EA (2004) Characterization of aerosolized bacteria and fungi from desert dust events in Mali, West Africa. *Aerobiologia* 20:99-110
- Lynn, R.J. and Svejksky, J. (1984). Remotely sensed sea surface temperatura variability off California during a "Santa Ana" clearing. *J. Geophys. Res.*, 89, C5: 8151-8162.
- Middleton, N.J. (2017). Desert dust hazards: A global review. *Aeolian Research* 24. 53-63.
- Mlawer, E. J., Taubman, S. J., Brown, P. D., Iacono, M. J., & Clough, S. A. (1997). Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14), 16663-16682.
- (NCEP, 2016) National Centers for Environmental Prediction/ National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2000, updated daily. *NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999*. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. <https://doi.org/10.5065/D6M043C6>. Consultado el 6 de Diciembre de 2016.
- (NOM, 2014) NOM-025-SSA1-2014, NORMA Oficial Mexicana de Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación.
- Pauley PM, Baker NL, Barker EH (1996) An observational study of the "Interstate 5" dust storm case. *Bull Am Meteorol Soc* 77:693-720
- Pineda-Martínez, L. F., Carbajal, N., & Aragon-piña, A. (2011). Numerical research of extreme wind-induced dust transport in a semi-arid human-impacted region of Mexico, (August). <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.05.056>
- Pleim, J. E., & Xiu, A. (2003). Development of a land surface model. Part II: Data assimilation. *Journal of Applied Meteorology*, 42(12), 1811-1822.
- Pleim, J. E. (2007), A combined local and nonlocal closure model for the atmospheric boundary layer. Part I: Model description and testing. *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 46, 1383-1395, doi:10.1175/JAM2539.1.
- Prakash, P. J., Stenichikov, G., Kalenderski, S., Osipov, S., & Bangalath, H. (2015). The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea, 199- 222. <http://doi.org/10.5194/acp-15-199-2015>
- Shao, Y., Wyrwoll, K., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., Mctainsh, G. H., ... Yoon, S. (2011a). Dust cycle : An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*, 2(4), 181-204. <http://doi.org/10.1016/j.aeolia.2011.02.001>
- Shao, Y., Ishizuka, M., Mikami, M., & Leys, J. F. (2011b). Parameterization of size -resolved dust emission and validation with measurements, 116(January), 1-19. <http://doi.org/10.1029/2010JD014527>
- Skamarock, W. C., y coautores. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3, (junio).
- Sommers W. T., (1978). LMF forecast variables related to Santa Ana wind occurrences. *Mon. Wea. Rev.* 106, 1307-1316.
- Su, L., Fung, J.C.H., (2015). Sensitivities of WRF-Chem to dust emission schemes and land surface properties in simulating dust cycles during springtime over East Asia (October). <http://doi.org/10.1002/2015JD023446>
- Sultan B, Labadi K, Guégan J, Janicot S (2005) Climate drives the meningitis epidemics onset in west Africa. *PLoS Med* 2:e6
- Sun, Z., An, X., Tao, Y., & Hou, Q. (2013). Assessment of population exposure to PM10 for respiratory disease in Lanzhou (China) and its health-related economic costs based on GIS. *BMC Public Health*, 13(1), 891. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-891>
- Westerling AL, Cayan DR, Brown TJ, Hall BL, R. L. (2004). Climate , Santa Ana Winds and Autumn Wildfires in Southern California, 85(31).

