

Tiempo, clima y los fenómenos atmosféricos: desde torbellinos hasta cambio climático

Víctor Manuel Torres Puente

Resumen

Tiempo y clima son términos meteorológicos que se utilizan en el idioma español indistintamente para comunicar el estado presente o inmediato de la atmósfera dentro del rango de horas a días. Mientras que tiempo (meteorológico) se refiere al estado actual de la atmósfera, clima se refiere a las variaciones en períodos de 30 años o más. Sin embargo, el uso indiscriminado de dichos términos genera confusión al suponer que los eventos atmosféricos de corta duración son climáticos. El presente trabajo tiene como objetivo principal esclarecer la diferencia entre tiempo y clima, así como mostrar un panorama general de las variaciones atmosféricas que ocurren dentro de estas escalas de tiempo. Para este fin se presentan ejemplos propios de cada una de estas variaciones, sus influencias, así como también las causas que los producen. Por último, se presentan algunos ejemplos de casos en México.

Palabras clave: tiempo meteorológico, clima, variabilidad climática, cambio climático, forzamiento radiativo.

WEATHER, CLIMATE AND THE ATMOSPHERIC PHENOMENA: FROM WHIRLWINDS TO CLIMATE CHANGE

Abstract

Weather and climate are meteorological terms that in the Spanish language are used indistinctly to provide information about the present state of the atmosphere within the range of hours to days. Weather refers to the current state of the atmosphere, while climate refers to long-term variations in the state of the atmosphere on timescales of at least 30 years. However, the arbitrary use of both terms is misleading, assuming that weather events are climatic in nature. The main objective of this work is to clarify the difference between weather and climate, as well as to show a broad overview of the atmospheric variations that occur on different time scales. To achieve this goal, examples for each time scale as well as their influences and their origin are presented. Finally, specific examples for Mexico are shown.

Keywords: weather, climate, climate variability, climate change, radiative forcing.

DOI: <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a3>



Víctor Manuel Torres Puente

vtpuente@gmail.com

Candidato a doctor por la Universidad Estatal de Nueva York en Albany. Departamento de Ciencias Atmosféricas y Ambientales.

Introducción

Día a día vivimos distintos estados en el ambiente que nos rodea, desde un frío que nos pone los pelitos de punta, hasta un calor al medio día que nos hace enojar por haber cargado el dichoso suéter que mamá nos sugirió llevar. En otras ocasiones, nos puede tocar la mala fortuna de que en la tarde nos agarre la lluvia, precedida por un viento que muchas veces urge a quien lavó a correr por la ropa. “Es el clima que ya está bien loco” o “es por el cambio climático”, dice la gente.

En muchos medios de comunicación al notificar la predicción meteorológica, éstos utilizan expresiones como *el clima*. De manera análoga, los portales oficiales de algunos gobiernos utilizan la palabra *clima* para proveer información sobre las condiciones atmosféricas en los días próximos, y en algunos otros se pueden encontrar frases como *estado del tiempo* o *pronóstico del tiempo*. Aunado a esto, términos como *frente frío*, *El Niño*, u *onda tropical* acompañan a la información que proveen, por ejemplo: “El Niño hace que llueva menos”, mezclando así fenómenos de distinta naturaleza y escala temporal que resultan sumamente confusos.

Este intercambio de términos lleva, entonces, a la idea de que el clima cambia a diario, y por consecuencia, todos los fenómenos atmosféricos son cambio climático. ¿Qué es lo correcto, entonces, clima o tiempo? ¿Todo es cambio climático? ¿Dónde queda El Niño y las sequías? Es importante distinguir entre los conceptos de tiempo y clima para identificar el tipo de fenómenos que experimentamos diariamente, el cómo estudiarlos, así como conocer los efectos que éstos ocasionan. Dichos efectos pueden variar desde una insignificante lluvia ligera o una tormenta, hasta una sequía de decenas de años de duración. Tales eventos influyen nuestra vida cotidiana e incluso la de generaciones por venir.

El objetivo del presente trabajo es presentar las diferencias que existen entre tiempo y clima, así como dar a conocer los fenómenos que existen en el marco de estas escalas de tiempo. Posteriormente, se presenta la forma en cómo dichos sucesos interactúan, seguida de los mecanismos que originan a los fenómenos atmosféricos en distintas escalas de temporales. Finalmente, se presentan algunos ejemplos de casos en México y las conclusiones de lo expuesto.

Tiempo, clima y variabilidad climática

De acuerdo con la sociedad meteorológica de los Estados Unidos (AMS, por sus siglas en inglés), se define al *tiempo meteorológico* como “el estado atmosférico actual, y que está relacionado principalmente con los efectos en la vida y las actividades humanas”. Como lo establecen en su definición, “popularmente el tiempo se percibe en términos de temperatura, humedad, lluvia, nubosidad, visibilidad, y viento” (AMS, 2018). En cambio “clima se refiere a las variaciones en el largo plazo del sistema atmósfera-hidrosfera-tierra”, por lo que *clima* se define, entonces, como las condiciones medias del tiempo durante períodos de 30 años o más (AMS, 2018).

Estas dos simples definiciones (tiempo y clima) ponen en claro que los fenómenos que observamos día a día en nuestra vida cotidiana se refieren a tiempo atmosférico. Ejemplos de tiempo son lluvias, viento, torbellinos, tornados, brisas marinas, ondas de latitudes medias, así como también ondas tropicales y huracanes (ver figura 1). Así pues, el pronóstico del tiempo de cierto lugar en particular nos dirá si lloverá y estará nublado, o si hará mucho calor durante el día con lluvia por la tarde.

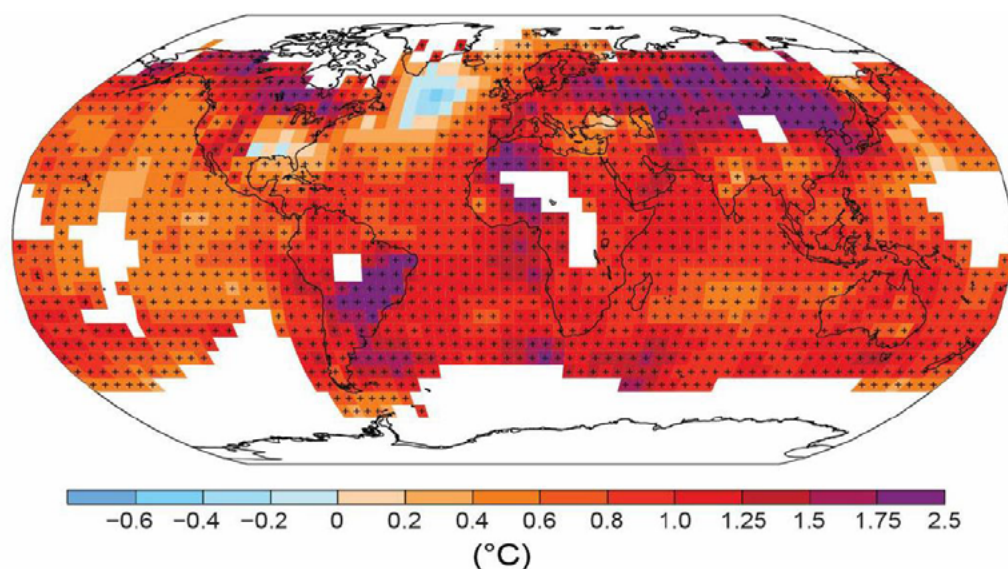


Figura 1. Ejemplo de fenómeno de tiempo meteorológico: huracán Newton (categoría 1) en el Océano Pacífico, el 5 de septiembre de 2016. Imagen tomada de NASA EOSDIS Worldview. Resolución horizontal: 500m por pixel. Fuente: <https://worldview.earthdata.nasa.gov>.

Por otra parte, al hablar de clima nos estaremos refiriendo a estados del sistema terrestre promediados durante 30 años. A partir de esta definición se entiende que *cambio climático* son los cambios en las condiciones medias del sistema atmósfera-hidrosfera-tierra en un lapso de tiempo de al menos 30 años (IPCC, 2013). Entonces, si nos preguntáramos cómo va a estar el clima mañana o en una semana, la respuesta sería igual que ayer, o hace cinco días, o como hace

Figura 2. Ejemplo de fenómeno en la escala de clima. Mapa de los cambios en la temperatura de la superficie terrestre de 1901 a 2012. Figura adaptada de Climate Change 2013: The Physical Science basis. WG1- IPCC. Fuente: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.

diez años, ¡no hay diferencia! Dado que estas escalas en tiempo son a largo plazo, fenómenos como las sequías, el calentamiento global y el cambio climático caen dentro de esta categoría (ver figura 2). Por todo lo anterior, lo correcto en los medios de comunicación sería usar *pronóstico del tiempo* y evitar frases como: “pronóstico del clima” o “previsión climática”.



1 Oscilación Madden-Julian. Fenómeno atmosférico representativo de la escala intraestacional con un período de entre 30 a 90 días que impacta los patrones de precipitación en los trópicos; también tiene influencia en depresiones tropicales y huracanes, entre otros. Está caracterizado por una propagación hacia el este de una amplia región de lluvias, y presenta dos fases: convectiva y no-convectiva. Este fenómeno es más evidente en el Océano Índico y Pacífico Oriental.

2 El Niño (El Niño-Oscilación del Sur). Inicialmente, El Niño fue el término para designar a una corriente de aguas cálidas entre Perú y Ecuador que aparecía en la época navideña. Actualmente, es parte de un fenómeno acoplado entre el océano y la atmósfera que se caracteriza por un calentamiento de las aguas superficiales en el Océano Pacífico Oriental y diferencias en la presión atmosférica en superficie dentro de los trópicos, esto último llamado Oscilación del Sur. A este fenómeno acoplado se le conoce como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Durante un episodio ENSO los vientos dentro de los trópicos se debilitan, lo que altera el patrón de vientos, las corrientes marinas y causa un calentamiento de la superficie del mar (fase conocida como El Niño). La escala de tiempo de ENSO abarca entre dos y siete años, aproximadamente. Sus efectos influyen los patrones atmosféricos en el Océano Pacífico y en todo el mundo a través de teleconexiones. A la fase fría de ENSO se le conoce como La Niña.

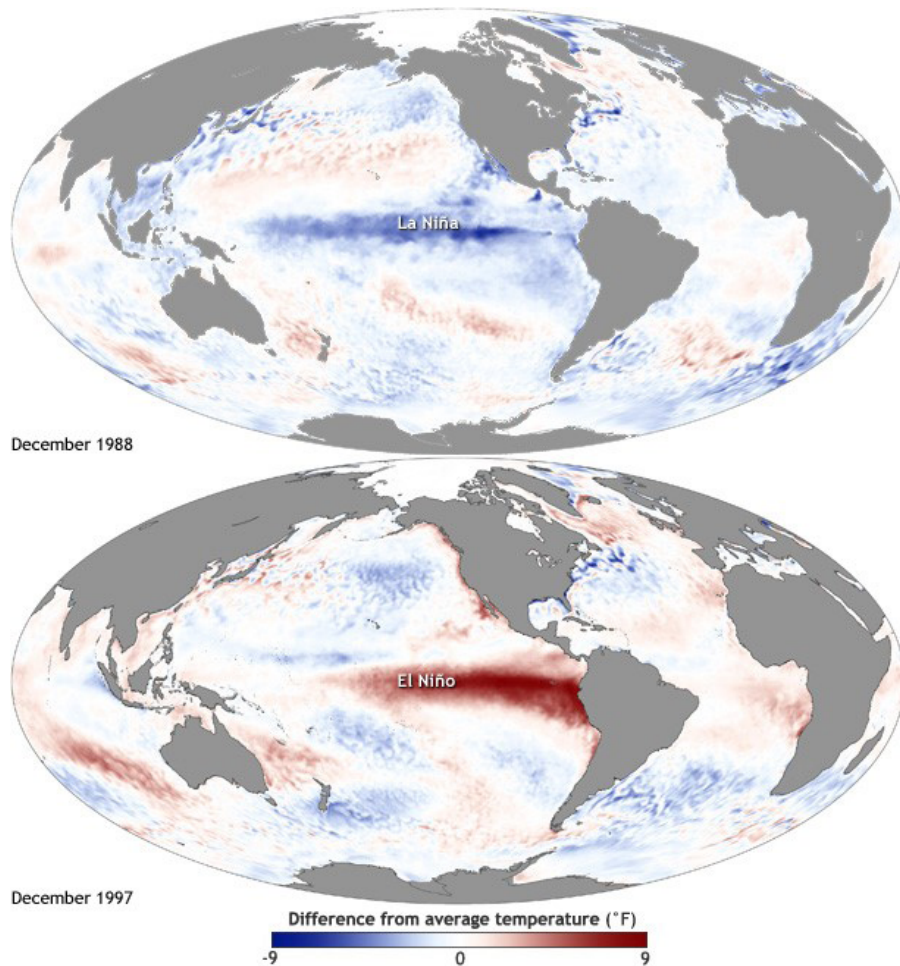
El estudio de nuestra atmósfera no sólo se reduce a analizar fenómenos de tiempo y clima. Se ha encontrado que existen fenómenos atmosféricos que duran más de un mes y poco menos que una estación del año. Este tipo de fenómenos caen dentro de lo que se conoce como *variabilidad intraestacional*. Ejemplos de estos son la Oscilación Madden-Julian¹ (o MJO por sus siglas en inglés) y los monzones, que duran aproximadamente de tres a cinco meses. Estos últimos marcan la temporada de lluvias dentro de las zonas tropicales (Krishnamurti, Stefanova, y Misra, 2013).

De manera similar, existen fenómenos atmosféricos cuya presencia oscila entre uno y cinco años y caen dentro de lo que se conoce como *variabilidad interanual*. Dentro de esta encontramos fenómenos como El Niño-Oscilación del Sur² (o ENSO: *El Niño-Southern Oscillation*) y la Oscilación Cuasi-Bienal³ (o QBO: *Quasi-Biennial Oscillation*) por mencionar algunos (Magaña, Vázquez, Pérez, y Pérez, 2003; Wang y Fiedler, 2006). La figura 3 muestra un ejemplo de la variabilidad interanual. Cada una de estas variaciones atmosféricas en cada una de las distintas escalas temporales implica bastante estudio, así como también el clima por sí mismo.

Figura 3. Ejemplo de variabilidad interanual: fenómeno El Niño-Oscilación del Sur. En la parte superior observamos su fase negativa, La Niña, caracterizada por presentar anomalías negativas en la temperatura de la superficie del mar en el Ecuador. En su fase positiva, El Niño, se presenta lo contrario, es decir, anomalías positivas en la temperatura de la superficie del mar. Fuente: NOAA Climate, <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/el-niño-and-la-niña-frequently-asked-questions>.

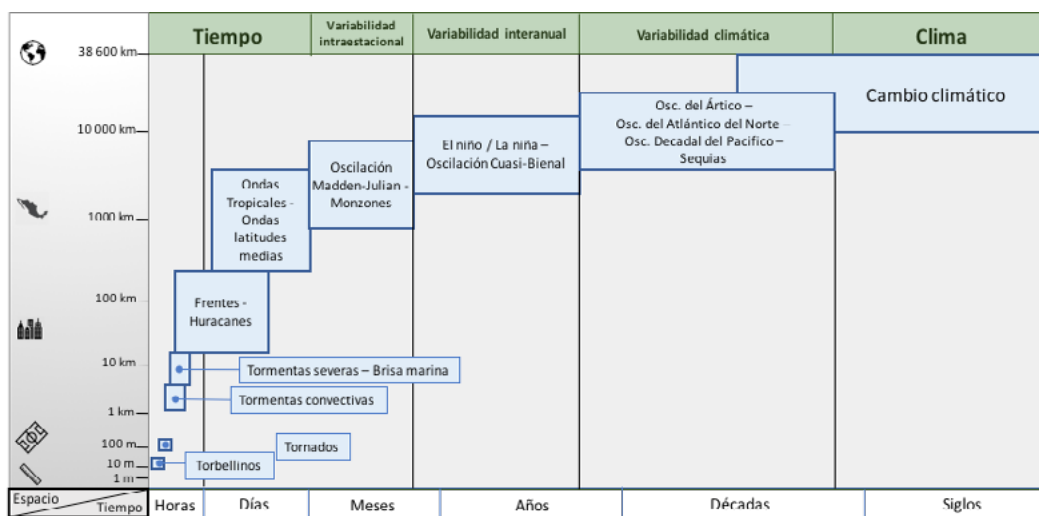
3 Oscilación Cuasi-bienal. Oscilación cuasiperiódica de los vientos en la estratosfera en latitudes tropicales con un período medio de 28 a 29 meses. Está caracterizada por una alternancia de vientos del este con vientos del oeste que se propagan verticalmente de niveles superiores de la atmósfera hacia los inferiores. Algunos de sus efectos se han observado en la intensidad y frecuencia de tormentas invernales en el hemisferio norte, así como en fenómenos como El Niño y la temporada de huracanes en el Océano Atlántico.

4 Oscilación del Atlántico Norte. Índice que representa el estado atmosférico debido a las diferencias de presión atmosférica a nivel del mar entre los sistemas de presión de Islandia y de las Azores. Esta oscilación presenta una considerable variabilidad intraestacional e interanual. Entre algunos de sus efectos encontramos que el impacto en los vientos alisios en los trópicos, lo que modifica, a su vez, las trayectorias de depresiones tropicales y huracanes en el Océano Atlántico.



Al considerar escalas de tiempo de orden climático surgen preguntas como: ¿el clima era el mismo ahora que cuando los mayas estaban en su máximo esplendor?, ¿realmente ha cambiado el clima desde 1970?, ¿cómo será el clima dentro de 40 años? O una muy importante: ¿el clima varía? Éstas son las cuestiones que los *climatólogos* —personas que estudian el clima— analizan. Dichas investigaciones han llevado a encontrar fenómenos atmosféricos que caen en escalas aún mayores a la escala interanual y menores a la de clima. Estas fluctuaciones, conocidas como *variabilidad climática*, se definen como las variaciones del estado medio del clima que se deben principalmente a factores naturales. Nuevamente, existen modos de variabilidad climática, entre los que se encuentran: la Oscilación del Atlántico Norte⁴ (NAO: *North Atlantic Oscillation*), la Oscilación del Ártico⁵ (AO: *Arctic Oscillation*), y la Oscilación Decadal del Pacífico⁶ (PDO: *Pacific Decadal Oscillation*) por mencionar algunas (IRI, 2018). La figura 4 nos ayuda a entender este entramado de fenómenos atmosféricos en las distintas escalas de tiempo y espacio.

Figura 4. Escalas temporales y espaciales que muestran algunos de los distintos fenómenos atmosféricos. Se pueden observar aquellos que caen dentro de la categoría tiempo y los que están dentro de la categoría clima. Basada en Stull (1988).



Relación entre las distintas escalas de tiempo en los fenómenos atmosféricos

Como ya se mencionó, los fenómenos atmosféricos ocurren en distintas escalas que van desde tiempo atmosférico hasta clima. Sin embargo, como ya se ha visto, en general estamos acostumbrados a sólo observar y experimentar fenómenos meteorológicos en las escalas de días. En ocasiones dichos eventos son más intensos o alcanzan cifras que empiezan a sobrepasar los registros históricos. Por ejemplo, tormentas intensas o temperaturas mayores a las que estamos acostumbrados.

La pregunta que surge, entonces, es: ¿existe alguna relación entre las distintas escalas de tiempo de los fenómenos atmosféricos? La respuesta es sí. Hay evidencias que indican que los fenómenos que observamos día a día están influenciados por factores de mayor escala tanto temporal como espacial. Ejemplo de ello son la intensidad y frecuencia de las lluvias, así como el número de huracanes y tormentas tropicales que en ocasiones dependen de la variabilidad intraestacional modulada por la Oscilación Madden-Julian (Aiyyer y Molinari, 2008) como lo muestra la figura 5. Asimismo, éstos son influenciados por la variabilidad interanual, un ejemplo bien documentado es el de El Niño y su relación con los ciclones tropicales (Camargo, Emanuel, y Sobel, 2007; Zhao y Raga, 2015). De igual forma, el número de días fríos dependerá en cierta medida del número de ondas de latitudes medias⁷ (que ocasionan los frentes⁸ fríos), y éstas, a su vez, estarán también influenciadas por la variabilidad interanual de El Niño (Held, Lyons, y Nigam, 1989). En una escala temporal de largo plazo, estas ondas se ven condicionadas por la Oscilación del Ártico (Ambaum, Hoskins, y Stephenson, 2001). Como un ejemplo de relación entre escalas climáticas, se empieza a suponer que los fenómenos de El Niño (de variación interanual) serán más comunes dado que se tendrá un océano más cálido en el futuro debido a cambios climáticos (Stevenson *et al.*, 2012). Sin embargo, se necesitan aún más estudios de estos temas para tener mayor certeza y confirmar dichas hipótesis.

5 Oscilación del Ártico.

Índice que representa el estado atmosférico de la circulación en el Ártico. Este índice varía en el tiempo sin ninguna periodicidad en particular. Está caracterizado por anomalías en la presión atmosférica en la superficie sobre el Ártico y su contraparte en latitudes medias. Cuando este índice es negativo, el aire del Ártico puede descender hacia latitudes más bajas ocasionando un mayor número de tormentas invernales y, por ende, inviernos más fríos.

6 Oscilación Decadal del Pacífico.

Índice de un patrón recurrente de variabilidad climática entre el océano y la atmósfera que se observa en latitudes mayores a 20oN en el Océano Pacífico del Norte. La variación temporal de este modo de variabilidad climática va de entre algunos años a décadas. La fase positiva (o cálida) se caracteriza por la presencia de aguas cálidas en la parte oriental del Pacífico y aguas frías en la parte occidental.

7 Ondas de latitudes medias.

También llamadas ondas de Rossby, son un fenómeno ondulatorio que ocurre naturalmente en fluidos en rotación. En la Tierra estas ocurren tanto en la atmósfera como en el océano, resultado de la rotación de la misma. En la atmósfera, este tipo de ondas tienen un papel fundamental en el desarrollo del tiempo meteorológico dado que ocasionan lluvias y alteraciones en la temperatura (frío o calor), entre otros fenómenos.

8 Frente (frío/cálido).

Zona de transición entre dos masas de aire de distinta temperatura y densidad. En particular, un frente frío (caliente) es la parte delantera de una masa de aire fría (caliente).

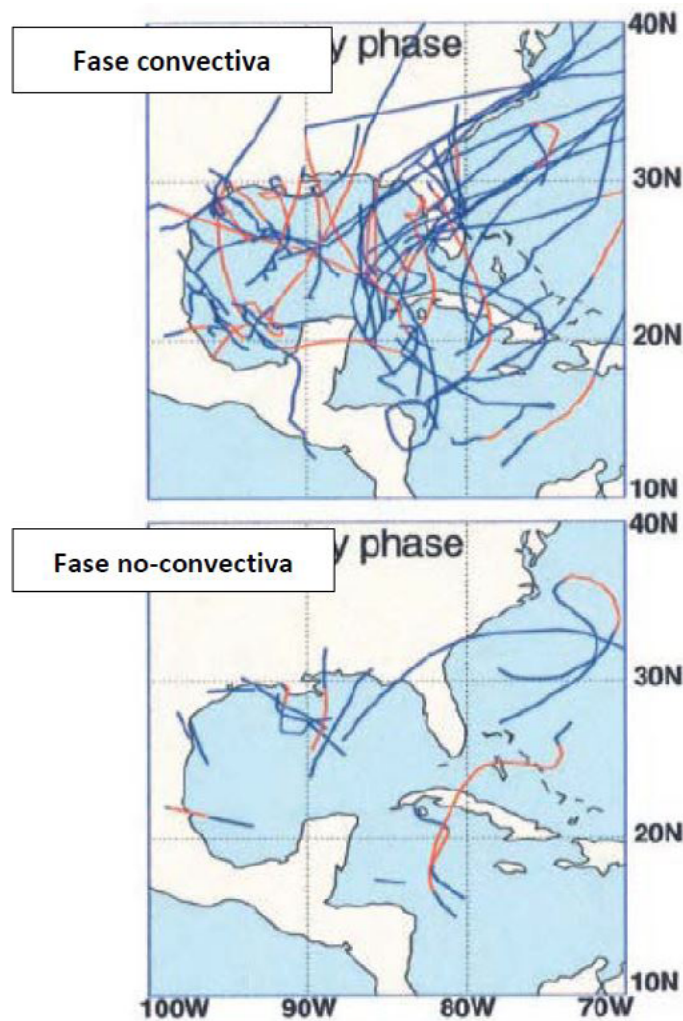


Figura 5. Relación entre ciclones tropicales en el Golfo de México y la Oscilación Madden-Julian. Durante su fase convectiva se observa un mayor número de ciclones tropicales, mientras que durante su fase no-convectiva se observa un menor número de ciclones tropicales. Adaptada de Maloney and Hartmann (2000).

Todo lo anterior parece indicar que la gran cantidad de fenómenos atmosféricos que existen en las distintas escalas de tiempo están de alguna manera relacionados entre sí y tienen influencia en el tiempo meteorológico. Sin embargo, hablar de cada una de estas conexiones y de cada fenómeno es muy extenso y fuera del alcance del presente trabajo. No obstante, veamos cuál es la naturaleza de los fenómenos atmosféricos, es decir, qué origina su existencia.

Naturaleza de los fenómenos atmosféricos

¿Qué es lo que origina el tiempo atmosférico y qué fuerzas lo controlan? Como dice la canción, ¿serán [acaso] los dioses ocultos? En parte lo son. Desde la antigüedad, los fenómenos atmosféricos han estado asociados a manifestaciones de los dioses. Esto lo podemos encontrar desde los más remotos registros de la humanidad y en las antiguas civilizaciones. Por ejemplo, Adad en Mesopotamia e Indra en la antigua India eran ambos dioses de la lluvia y las tormentas. En la antigua Grecia, Zeus era dios de los cielos y también del tiempo (meteorológico).

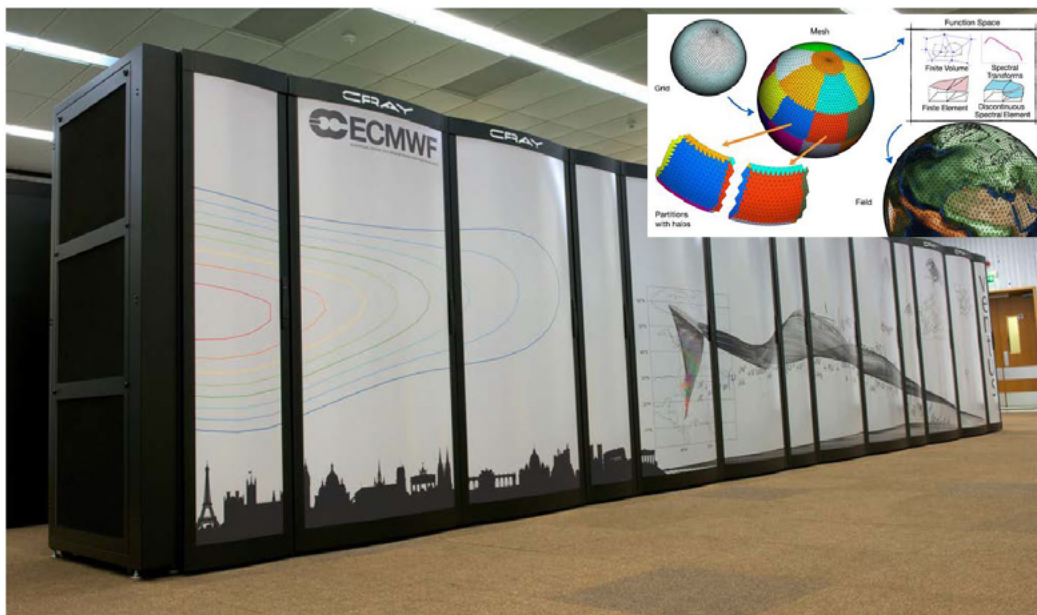
Por su parte, en la antigua Mesoamérica, Tláloc entre los aztecas y Chaac entre los mayas eran los dioses del agua. Todos estos dioses, si estaban contentos, proveían de buenas lluvias y abundancia; en caso contrario, enviaban desgracias a la población. Por lo tanto, en la antigüedad se creía que los fenómenos atmosféricos estaban originados por la voluntad de los dioses.

Tiempo después, los santos y las artes adivinatorias ocuparon su lugar. No hace mucho, dentro del catolicismo, en México se fomentaba la idea de que a principios de octubre “san Francisco ajustaba su cordón” y dejaba lluvias y días fríos, creencia popularmente conocida como el cordonazo de San Francisco. Otras formas incluían también el uso de las *cabañuelas*, un antiguo arte adivinatorio de origen judío que se ocupa a inicios de año. Sin embargo, ninguno de estos dioses, santos o artes adivinatorias eran objetivos, siendo la predicción del tiempo imposible en esos tiempos.

Figura 6.

Supercomputadora CRAY-X2 del Centro Europeo para la previsión del tiempo meteorológico de rango medio (ECMWF, por sus siglas en inglés), es decir, en escalas de 15 días. Este sistema está compuesto por dos *clusters* CRAY xc40, cada uno con 6,912 núcleos de proceso. En la parte superior derecha se puede observar algunas técnicas para procesar datos.

Fuente: <https://www.ecmwf.int/en/computing/our-facilities/supercomputer>.



El uso del método científico ha logrado que los fenómenos atmosféricos sean comprensibles a través de la elaboración de teorías basadas en suposiciones y simplificaciones de la naturaleza. Se ha demostrado que las fuerzas de la naturaleza —aquellas identificadas por Arquímedes, Newton, y Coriolis, entre otros— y que todos conocemos como flotación⁹, presión, fricción¹⁰, fuerza centrífuga¹¹ y fuerza de Coriolis¹², así como también la cizalladura¹³, son las causantes de los cambios en el estado del tiempo. Esto ha llevado a la comunidad científica a que actualmente, a través del uso de supercomputadoras y modelos matemáticos basados en fenómenos físicos, sea posible la predicción del tiempo en el rango de seis días, y con el uso de técnicas matemáticas de hasta 15 a 20 días. La figura 6 muestra un ejemplo de los equipos tecnológicos que son empleados para tal fin.

¿Qué fuerzas ocasionan, entonces, los cambios en el clima? Esta pregunta tiene dos respuestas. La primera, dado que el clima es el estado medio de un conjunto de eventos, las mismas fuerzas que originan el tiempo. La segunda, ya que en el sistema climático entran más factores en juego y sus variaciones son en escalas de décadas (recordemos que incluye a la atmósfera-hidrosfera-tierra), el clima está influenciado por el estado de los océanos (por ejemplo, en su temperatura), la composición y estado de la atmósfera (por ejemplo, en su composición química), así como también los elementos en la tierra (como el uso de suelo o cambio en las cubiertas polares). Todos estos factores alterarán finalmente la radiación que entra y sale de la atmósfera, esto es conocido como *forzamiento radiativo* y es lo que condicionará los cambios en el clima (IPCC, 2013).

Un caso muy interesante es el siguiente: si la atmósfera contiene una mayor composición de gases de efecto invernadero, ésta se calentará más, lo que originará un aumento en su temperatura y, por consecuencia, un calentamiento global (Caballero, Lozano, y Ortega, 2007). En los últimos años la comunidad científica ha demostrado que la actividad humana (también llamada actividad antropogénica) ha alterado este forzamiento radiativo principalmente a través de emisiones de CO₂ y CH₄ en la atmósfera, lo que eventualmente llevará a un cambio climático, es decir, las condiciones medias de temperatura, precipitación y circulación oceánica serán distintas a las que actualmente conocemos.

Por lo anterior, podemos establecer que lo que origina el tiempo meteorológico se debe a la acción de fuerzas físicas en la atmósfera y su interacción con el sistema terrestre. En la escala climática, los forzamientos radiativos serán lo que condicionen, entonces, el estado climático.

Tiempo, clima y variabilidad climática en México

¿Cómo es que todo este entramado de fenómenos atmosféricos se observa en México? Nuestra experiencia cotidiana ha empezado a poner más énfasis en fenómenos que cada vez son más extremos. Recientemente podemos mencionar casos como las tormentas que han inundado partes de la Ciudad de México el día 7 de septiembre de 2017 (Llanos y Ramirez, 2017). Otros casos incluyen precipitación extrema en las costas del Pacífico (Rodríguez, 2017), o aquellos que han causado deslaves en zonas montañosas con cuantiosas pérdidas humanas y materiales, como en Teziutlán, Puebla, el 5 de octubre de 1999 (Vergara y Animas, 2016). Asimismo, huracanes más intensos han impactado costas mexicanas, por ejemplo, Patricia en 2015 (Kimberlain, 2016); así como también sequías en la parte norte del país durante el año 2011 (Monitor de Sequía en México, 2018). La figura 7 ilustra algunos de estos casos.

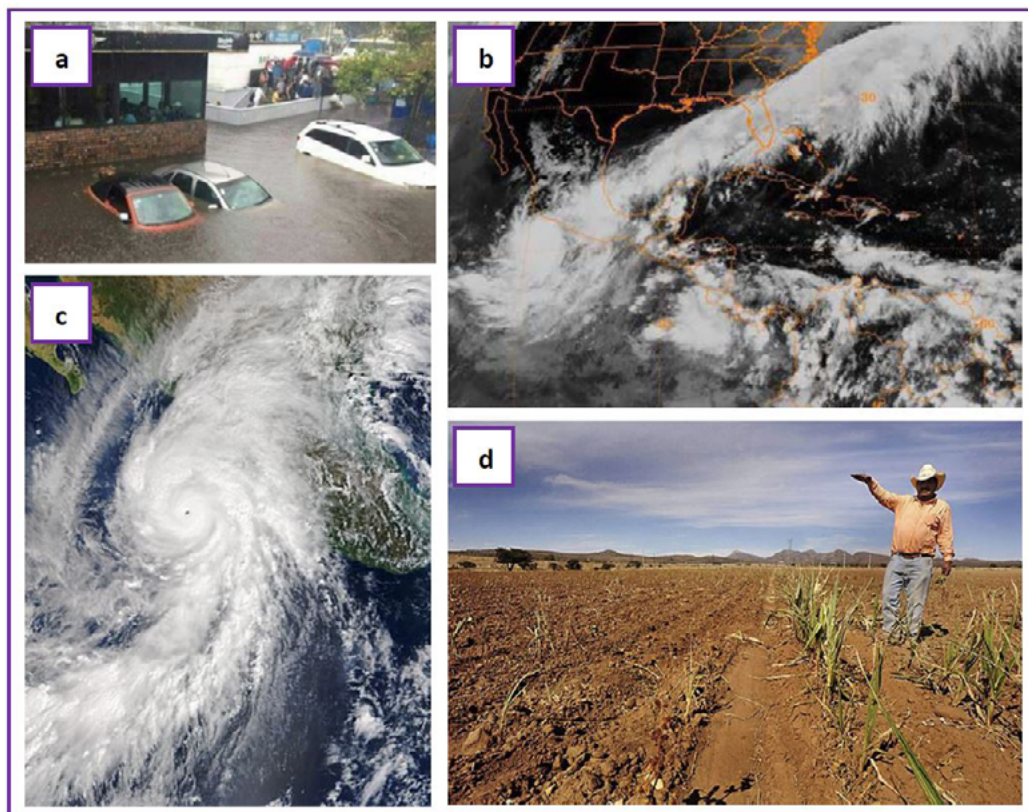


Figura 7. Algunos eventos extremos suscitados en los últimos años. **a.** Inundaciones al sur de la Ciudad de México en septiembre de 2007; **b.** Sistema frontal y onda tropical que afectó a Teziutlán, Puebla, el 5 de octubre de 1999; **c.** Huracán Patricia el 23 de octubre de 2015; y **d.** Sequía en el norte de México. Fuentes: a y d: internet; b: Gibbs Satellite Imagery; c: NASA Worldview.

Algunos de estos fenómenos a pesar de durar horas o días, en la mayoría de los casos, han estado relacionados con fenómenos de mayor escala temporal (como cambio climático, por ejemplo). Veamos los casos mencionados anteriormente. Las lluvias en la ciudad de México en septiembre de 2017 se debieron a la convección profunda asociada a un frente frío (fenómeno puramente en la escala de tiempo meteorológico). Por otra parte, la precipitación extrema en Teziutlán, Puebla, se debió a una interacción de dos fenómenos, a saber, una onda tropical y un frente frío (Hernandez Unzon y Bravo Lujan, 1999), que pertenecen también a esa escala de tiempo. Con respecto a los fenómenos de lluvias extremas en la costa del Pacífico se ha demostrado que están influenciados por eventos de escala intraestacional como la Oscilación Madden-Julian (Aiyyer y Molinari, 2008). Para las sequías en México, se ha documentado que están en función de factores de variabilidad climática interanual asociados a cambios en la temperatura superficial del Océano Pacífico (Cook, Seager, Cane, y Stahle, 2007; Seager, Goddard, Nakamura, Henderson, y Lee, 2014), así como también a la escala interdecadal asociada con oscilaciones como PDO y AMO (Méndez y Magaña, 2010). Lo anterior muestra que no todos los eventos meteorológicos son resultado únicamente ni de El Niño ni del cambio climático.

Todo lo presentado indica que existen diversos fenómenos atmosféricos que abarcan distintas escalas temporales que van desde horas a días (tiempo)

hasta décadas (clima). A las variaciones atmosféricas naturales se les conoce como variabilidad intraestacional, interanual o climática, según la escala de tiempo considerada. Los cambios en el tiempo meteorológico están en función de las fuerzas fundamentales de la naturaleza, mientras que los cambios en el clima se deben más al forzamiento radiativo. Muchos fenómenos atmosféricos que vemos día a día se deben a cambios dentro del corto a mediano plazo y cada uno requiere de un conocimiento muy amplio y necesario en México.

Conclusiones

Es importante discernir entre tiempo meteorológico y clima. Mientras que el estado del tiempo trata con fenómenos de horas a días, los fenómenos climáticos varían en escalas de tiempo que van de algunos años a décadas. Entre las escalas de tiempo meteorológico y clima existe una amplia gama de fenómenos. Estas diferencias en la escala de tiempo de los fenómenos atmosféricos sientan las bases para establecer una metodología de estudio, pues no será igual estudiar los mecanismos que ocasionan un tornado que los que ocasionan el calentamiento global. Ciertos fenómenos que ocurren en escalas de tiempo que abarcan muchos años pueden establecer condiciones atmosféricas que favorezcan la generación de otros fenómenos en escalas de tiempo menor (es decir, de tiempo meteorológico). Un ejemplo de esto es la relación entre El Niño (escala interanual) y los ciclones tropicales en el océano Atlántico (escala de tiempo meteorológico). Sin embargo, es necesario darse cuenta de que no todo se puede atribuir al cambio climático. A pesar de que ya se han identificado los mecanismos que condicionan y controlan al clima, aún no se ha podido establecer claramente una conexión directa entre las escalas de clima y tiempo meteorológico. Este problema, entre muchos otros en este ramo de la ciencia, nos invita a realizar más estudios en los campos de la dinámica atmosférica, cambio climático y, en particular, acerca de sus impacto en México, todo esto con el fin de tener mejores sistemas de pronóstico a corto y largo plazo.

Referencias

- ❖ Aiyyer, A., y Molinari, J. (2008). MJO and Tropical Cyclogenesis in the Gulf of Mexico and Eastern Pacific: Case Study and Idealized Numerical Modeling. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 65(8), 2691-2704. DOI: <http://doi.org/10.1175/2007jas2348.1>.
- ❖ Ambaum, M. H. P., Hoskins, B. J., y Stephenson, D. B. (2001). Arctic Oscillation or North Atlantic Oscillation? *Journal of Climate*, 14(16), 3495-3507. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<3495:AOONAO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<3495:AOONAO>2.0.CO;2).
- ❖ American Meteorological Society (2018). Weather. Glossary of Meteorology. Recuperado de: <http://glossary.ametsoc.org/wiki/weather>.
- ❖ Caballero, M., Lozano, S., y Ortega, B. (2007). Efecto invernalero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*, 8(10), 1-12. Recuperado de: http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf.

-
- ❖ Camargo, S. J., Emanuel, K. A., y Sobel, A. H. (2007). Use of a genesis potential index to diagnose ENSO effects on tropical cyclone genesis. *Journal of Climate*, 20(19), 4819-4834. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI4282.1>.
 - ❖ Cook, E. R., Seager, R., Cane, M. A., y Stahle, D. W. (2007). North American drought: Reconstructions, causes, and consequences. *Earth-Science Reviews*, 81(1), 93-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.12.002>.
 - ❖ Held, I. M., Lyons, S. W., y Nigam, S. (1989). Transients and the Extratropical Response to El Niño. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 46(1), 163-174. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1989\)046<0163:TATERT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1989)046<0163:TATERT>2.0.CO;2).
 - ❖ Hernandez Unzon, A., y Bravo Lujan, C. (1999). *Depresión Tropical 11*. Recuperado de: http://smn.cna.gob.mx/tools/DATA/Ciclones_Tropicales/Ciclones/1999-DT11.pdf.
 - ❖ Intergovernmental Panel on Climate Change (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. (Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
 - ❖ International Research Institute. (2018). *Climate Variability*. Recuperado de: <https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/climate-variability/>.
 - ❖ Kimberlain, T. B., Blake, Eric S., and Cangialosi, John P. (2016). *Hurricane Patricia (EP202015)*. Recuperado de: https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP202015_Patricia.pdf.
 - ❖ Krishnamurti, T. N., Stefanova, L., y Misra, V. (2013). *Tropical meteorology : An introduction*. New York, NY, USA: Springer.
 - ❖ Llanos, R., y Ramirez, B. (2017, Septiembre 6). Tormentas colapsan el sur de la ciudad por inundaciones y fallas de los bordos. *La Jornada*. Recuperado de: <http://semanal.jornada.com.mx/ultimas/2017/09/06/lluvias-cortan-ruta-de-metrobus-y-ocasionan-corrientes-en-cdmx>.
 - ❖ Madden, R. A., y Julian, P. R. (1971). Detection of a 40—50 Day Oscillation in the Zonal Wind in the Tropical Pacific. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 28(5), 702-708. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1971\)028<0702:DOADOI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1971)028<0702:DOADOI>2.0.CO;2).
 - ❖ Magaña, V. O., Vázquez, J. L., Pérez, J. L., y Pérez, J. B. (2003). Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofísica internacional*, 42(3), 313-330. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_serial&pid=0016-7169&nrm=iso&rep=&lng=en.
 - ❖ Maloney, E. D., y Hartmann, D. L. (2000). Modulation of Hurricane Activity in the Gulf of Mexico by the Madden-Julian Oscillation. *Science*, 287(5460), 2002-2004. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.287.5460.2002>.
 - ❖ Méndez, M., y Magaña, V. (2010). Regional Aspects of Prolonged Meteorological Droughts over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, 23(5), 1175-1188. DOI: <https://doi.org/10.1175/2009jcli3080.1>.
-

-
- ❖ Monitor de Sequía en México. (2018). Recuperado de: <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>.
 - ❖ Rodríguez, O. (2017, Junio 13). Por 'Calvin', refinería de Pemex en Oaxaca se inunda. *Milenio*. Recuperado de: <http://www.milenio.com/estados/por-calvin-refineria-de-pemex-en-oaxaca-se-inunda>.
 - ❖ Seager, R., Goddard, L., Nakamura, J., Henderson, N., y Lee, D. E. (2014). Dynamical Causes of the 2010/11 Texas—Northern Mexico Drought. *Journal of Hydrometeorology*, 15(1), 39-68. DOI: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-024.1>.
 - ❖ Stevenson, S., Fox-Kemper, B., Jochum, M., Neale, R., Deser, C., y Meehl, G. (2012). Will There Be a Significant Change to El Niño in the Twenty-First Century? *Journal of Climate*, 25(6), 2129-2145. DOI: <https://doi.org/10.1175/jcli-d-11-00252.1>.
 - ❖ Stull, R. B. (1988). *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Netherlands: Springer.
 - ❖ Vergara, S., y Animas, L. (2016, Octubre 4). La sierra norte recuerda a sus muertos en la tragedia de la década. e-consulta. Recuperado de: <http://www.e-consulta.com/nota/2016-10-04/ciudad/la-sierra-norte-recuerda-sus-muertos-en-la-tragedia-de-la-decada>.
 - ❖ Wang, C., y Fiedler, P. C. (2006). ENSO variability and the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2), 239-266. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.004>.
 - ❖ Zhang, C. (2005). Madden-Julian oscillation. *Reviews of Geophysics*, 43(2). DOI: <https://doi.org/10.1029/2004RG000158>.
 - ❖ Zhao, H. K., y Raga, G. B. (2015). On the distinct interannual variability of tropical cyclone activity over the eastern North Pacific. *Atmosfera*, 28(3), 161-178. DOI: <https://doi.org/10.20937/Atm.2015.28.03.02>.

Cómo citar este artículo

- ❖ Torres Puente, Víctor M. (2019). Tiempo, clima y los fenómenos atmosféricos: desde torbellinos hasta cambio climático. *Revista Digital Universitaria* (RDU). Vol. 20, núm. 1 enero-febrero. DOI: <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a3>.

RECEPCIÓN: 05/02/2018 APROBACIÓN: 10/12/2018