

## **Variabilidad Climática y Oscilaciones**

Alfredo Ruiz Barradas

*Department of Atmospheric and Oceanic Science*

*University of Maryland, College Park*

E-mail: [alfredo@atmos.umd.edu](mailto:alfredo@atmos.umd.edu)

Variabilidad y cambio climático han existido a través de la historia del planeta. De hecho, se dice que los humanos no habríamos evolucionado a lo que somos de no haber existido la alternancia de períodos cortos de miles de años de humedad extrema y aridez en el Este de Africa que obligaron a los primeros humanos modernos a adaptarse o perecer. Esto es, somos consecuencia de la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos del planeta que han ocurrido en lapsos de miles de años. Por ello, no debe de sorprendernos que en nuestros tiempos se hable de variabilidad del clima y cambio climático y la necesidad de adaptarse a esos cambios. Sin embargo debería preocuparnos que esos cambios estén ocurriendo en el lapso de vida promedio de una persona y no en miles de años. El propósito de esta nota es el de explicar lo que entendemos por variabilidad climática y presentar al lector algunos de los fenómenos que inducen tal variabilidad empezando por entender que es el sistema climático, el clima y los factores internos y externos que los generan.

### ***El sistema climático y el clima***

El sistema climático en nuestro planeta consiste de un conjunto de elementos naturales que interactúan entre sí: atmósfera, hidrósfera, criosfera, litósfera y biosfera (Fig. 1). Estos interactúan entre ellos a través de flujos de masa (como cuando la brisa sopla transportando humedad del Golfo de México hacia la Sierra, o la lluvia se deposita en el suelo de la selva), de calor (como cuando la corriente del Golfo de México guía aguas cálidas hacia las latitudes norteñas del Océano Atlántico, o la lluvia que cayó se evapora llevándose consigo el calor de la tarde) y de momento (como cuando el viento produce olas en el mar o manda a la deriva icebergs). La interacción entre los distintos elementos, modificados por las particularidades de cada región como latitud, altitud, cercanía a cuerpos de agua, y topografía determinan el tiempo que se siente día con día y el clima a lo largo del año.

Pero que es clima? Si se piensa en el verano que se añora en el invierno, o la canícula de julio/agosto que se teme pueden dar una idea al lector, aunque de manera

subjetiva, de lo que es clima al ignorar las condiciones atmosféricas del día a día (o el *tiempo* atmosférico) y resumir mentalmente lo que se ha vivido en períodos similares (estaciones o meses en los ejemplos anteriores) del pasado inmediato o la síntesis mental de aquellos que se han experimentado a lo largo de la vida. Esta evaluación del clima se puede hacer de una manera objetiva al definirlo con el *promedio y medidas de variabilidad de cantidades relevantes dentro de los elementos del sistema climático sobre periodos de tiempo* que pueden ser de meses o estaciones hasta miles o millones de años. El promedio es lo que generalmente interpretamos como clima, y las cantidades climáticas que más nos dan la idea de lo que es el clima incluyen variables que se miden al nivel donde habitamos como son temperatura, precipitación y humedad; así, podemos hablar del clima en diciembre del año pasado o el del verano del 2010 o el del que nos espera en el 2015 o del que se experimentó en los períodos glaciares del pleistoceno. Es importante destacar que la elección de la escala para obtener los promedios sirve para eliminar la variabilidad a escalas temporales más pequeñas; así, los promedios mensuales eliminan la variabilidad del día a día del tiempo o los anuales eliminan estacionalidad a escalas mensuales y estacionales. En particular, un promedio durante un período adecuadamente largo define lo que se conoce como *climatología* la cual se usa tanto de referencia para estudiar la variabilidad del clima a ciertas escalas de tiempo, como para estudiar su propio cambio a escalas temporales mayores; la Organización Meteorológica Mundial recomienda usar periodos de 30 años para eliminar la variabilidad interanual y definir una *normal climatológica* que al actualizarse cada 10 años permita la detección de cambios en ese clima medio o climatología.

### ***Variaciones climáticas***

Precisamente, variaciones en esos promedios (incluido el de largo plazo o climatología) y las medidas de variabilidad (incluidos la ocurrencia de eventos extremos o medidas de dispersión como la desviación estándar) de las cantidades climáticas definen lo que son las *variaciones climáticas*. Estas se determinan objetivamente al calcular *anomalías* o diferencias con respecto a la climatología de los promedios (mensuales, estacionales, anuales o de escala mayor) de las cantidades climáticas. Y dicho sea de paso ya que no es el tema de esta nota, *cambio climático* se refiere al cambio

sistemático en el clima (climatología y/o medidas de su variabilidad) por causas naturales o antropogénicas que persista por un periodo extendido de décadas o mayor.

Pero porque varía el clima? El clima varía con el tiempo debido a la interacción interna de sus elementos y a consecuencia de perturbaciones externas tanto naturales como antropogénicas. Las perturbaciones naturales externas pueden ser de origen astronómico (por cambios en la forma de la órbita del planeta alrededor del Sol, y en la orientación del eje de rotación del planeta) o terrestre (por erupciones volcánicas) pero mientras que las primeras alteran la energía que llega al planeta, las de origen terrestre y las inducidas por el hombre (por cambios en el uso del suelo y emisiones hacia la atmósfera) alteran la composición de ésta y el tipo y concentración de aerosoles suspendidos en ella que modifican la energía que alcanza la superficie del planeta, su distribución y almacenamiento en el sistema climático.

El sistema climático no necesita de perturbaciones externas para presentar variaciones. El Sol es la fuente de energía que alimenta a nuestro sistema climático. Sin embargo la energía que proviene del Sol no se distribuye igual entre los polos y el ecuador (debido a la inclinación del eje de rotación de la Tierra) la cual se modula con el paso de las estaciones, la distribución de océanos y continentes (que absorben y liberan la energía de manera distinta) y en general por la interacción interna entre los distintos elementos del sistema climático. El resultado es una distribución cambiante de regiones cálidas y frías a través del planeta que generan tanto patrones globales fijos de la circulación en la atmósfera y el océano, como patrones transitorios recurrentes que pueden durar de semanas hasta años.

A esos patrones recurrentes se les conoce como modos preferidos de variabilidad del clima u oscilaciones. Dichos modos de variabilidad inducen patrones característicos del tiempo y la circulación de la atmósfera y del océano que pueden durar desde unos pocos días (como cuando pasa un frente frío o una tormenta), a unas semanas (como cuando hay un aumento de la temperatura en el invierno o un aumento de las lluvias en el verano), a unos pocos meses (como cuando hay un invierno particularmente cálido o frío, o un verano inesperadamente fresco o cálido), a algunos años (como cuando hay inviernos atípicos por varios años seguidos —Xalapa sin neblinas ni chipichipi?), o hasta varios siglos (característico de cambio climático a

largo plazo que han caracterizado distintas eras en la evolución del planeta, incluidas las glaciaciones). Sin embargo, a pesar del nombre, dichas oscilaciones carecen de la regularidad de las oscilaciones de un reloj de péndulo y la simetría de sus movimientos.

Modos de variabilidad, y sus efectos, se han ido identificando a medida que se ha incrementado nuestro entendimiento del funcionamiento del sistema climático. Esto ha sido posible tanto al incremento de observaciones de las variables meteorológicas y oceánicas como a que el estudio del clima ha pasado de ser puramente descriptivo a ser estudiado mediante el uso de herramientas de la Física y las Matemáticas (Peixoto and Oort 1992). Dentro de esos modos de variabilidad no sería raro que el lector haya oído hablar de El Niño que es el que más ha ocupado encabezados pero existen más (ver placa 1.1 en Blunden et al. 2011 para una lista y referencias adicionales). Aunque se conoce más de unos que de otros las características espaciales de los modos de variabilidad están organizadas en estructuras relativamente coherentes cuya amplitud, fase y posición geográfica cambian con el tiempo. Estas estructuras espaciales ayudan a establecer las condiciones en el océano y la atmósfera para que haya posiciones preferidas para los anticiclones y rutas favorecedoras para los ciclones tropicales y de latitudes medias de manera que modulen cuan húmedo, seco, caliente o frío una región en particular estará en algún momento en el año. La detección y entendimiento de los patrones que generan los modos de variabilidad pueden ayudar a predecir el tiempo de la siguiente semana o saber como la presente o venidera estación se desarrollará.

Algunos de los modos de variabilidad climática más estudiados están representados con acrónimos (por sus siglas en inglés) en la Fig. 2. No todos ellos afectan directamente a nuestro país, o al menos no se ha establecido todavía alguna relación como en los casos del Dipolo del Océano Indico (OID) o el Modo Anular del Sur (SAM). Sin embargo, mientras que el impacto sobre nuestro territorio de otros de esos modos como la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), el Modo Anular del Norte (NAM), o la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) se está esclareciendo poco a poco, otros modos como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO) han evidenciado tener un gran impacto sobre el tiempo y clima en nuestro país. Para tener una idea del impacto de estos dos últimos fenómenos en la lluvia sobre territorio veracruzano, las lluvias y temperaturas del océano del verano de

2010 se ponen en contexto de las temperaturas superficiales del océano y lluvias características de estos fenómenos (Fig. 3). El invierno 2009-2010 se presentó con calentamiento anómalo de las aguas del Pacífico ecuatorial que se debilitó en la primavera siguiente y pasó a ser anómalamente frío en verano y otoño, mientras que el Atlántico Norte experimentó calentamiento sostenido durante todo el 2010; las lluvias fueron más altas de lo normal en la mitad norte/sur del estado de Veracruz en invierno/primavera, mientras que en verano la lluvia fue anómalamente alta en ambas partes del estado (Fig. 3a). Interesantemente, la estructura de las anomalías observadas en el verano del 2010 se parecen a aquellas que caracterizan a La Niña (fase negativa de ENSO) y a la fase positiva de la AMO (Figs. 3b, c); mientras que otros fenómenos pudieron contribuir a las lluvias anómalas observadas, ENSO y AMO definitivamente impactaron en la lluvia de la región presumiblemente favoreciendo condiciones en el Caribe y Golfo de México para el desarrollo y desplazamiento de tormentas.

Esta nota ha tratado de informar al lector lo que entendemos por variabilidad climática y darle una idea de algunos de los fenómenos que contribuyen a esa variabilidad. Es importante ayudar a la gente a entender lo que es variabilidad climática para que así pueda poner en contexto lo que oye por los medios de comunicación sobre éste y otros temas relacionados con el clima y el tiempo atmosférico. Este autor confía en que después de leer la presente nota, el lector se quejará con aquellos noticieros que titulan Pronóstico del Clima la sección que en realidad habla sobre el pronóstico del tiempo. Igualmente importante es concientizar a los gobernantes sobre variabilidad climática y la necesidad de entender como ésta afecta a nuestro país para que así apoyen esta línea de investigación como base para poder entender los efectos del cambio climático, ya que el apoyo a estudios sobre cambio climático solamente no es suficiente.

### **Referencias**

Blunden J., D. S. Arndt, and M. O. Baringer, 2011: State of the Climate in 2010. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **92**, S1–S236. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477-92.6.S1>

Harris I., P. D. Jones, T. J. Osborn, y D. H. Lister, 2014: Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatology*, **34**, 623-642, Doi: 10.1002/joc.3711

Peixoto J. P., and Oort A. H., 1992: *Physics of Climate*. Am. Inst. of Physics. 520p.

Rayner N. A., y Coautores, 2003: Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.*, **108**, No. D14, 4407 10.1029/2002JD002670.

Ruiz-Barradas, A., 2011: Inundaciones 2010: Lluvias extremas en Veracruz y su relación con la variabilidad natural del clima. *Inundaciones 2010 en el estado de Veracruz*, Universidad Veracruzana, COVECYT. Editor A. Tejeda.

UCAR 2015: From Arctic Oscillation to Pineapple Express: A Weather-Maker Patterns Glossary. Disponible en línea: <https://www2.ucar.edu/news/backgrounders/weather-maker-glossary>.

## Pie de Figuras

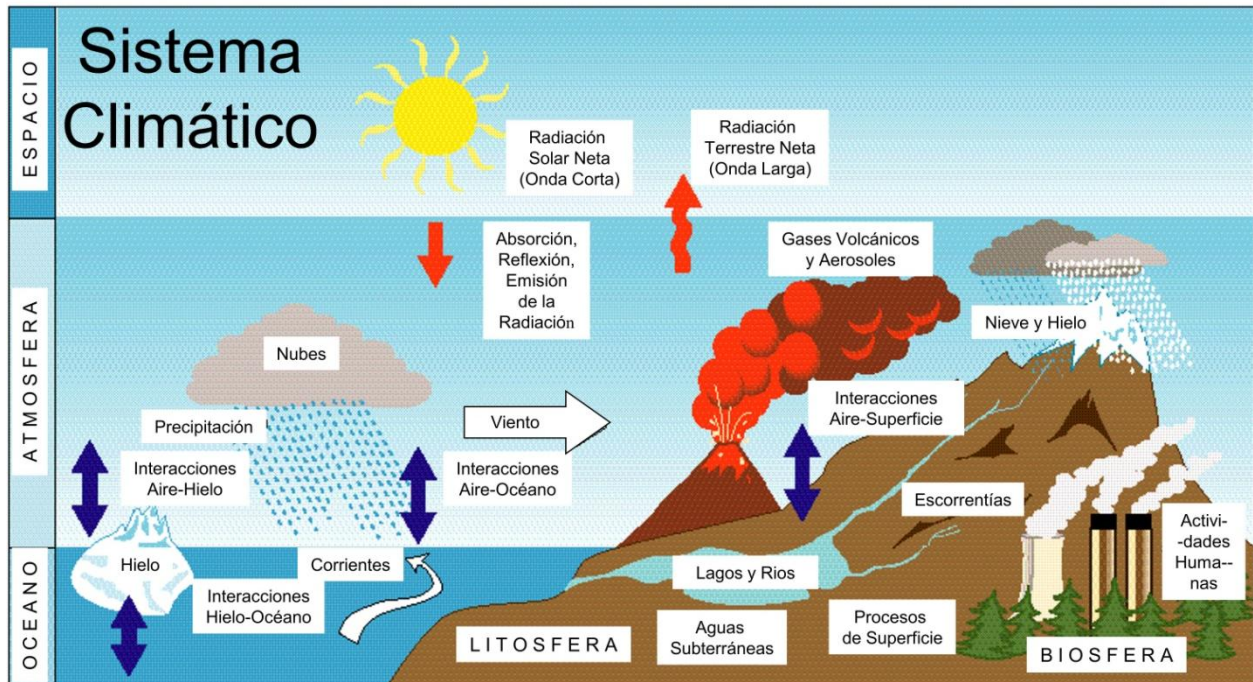
**Figura 1.** Elementos del sistema climático: atmósfera, hidrósfera (océano mas todas las otras fuentes de agua en el planeta), litósfera (parte sólida de la corteza terrestre), criosfera (hielo y nieve sobre el mar y continentes), biosfera (seres vivos). Las flechas azules indican las interacciones entre los distintos elementos del sistema que dan origen a la variabilidad natural del clima. Las flechas rojas indican el balance (o desbalance) energético del sistema climático debido a factores externos naturales o no: emisiones hacia la atmósfera por actividades humanas y erupciones volcánicas alteran la composición de la atmósfera y el tipo y cantidad de aerosoles en suspensión que alteran la energía que se recibe del Sol, su distribución y almacenamiento en el sistema climático; cambios astronómicos debidos a la precesión del eje de rotación del planeta y la excentricidad de la órbita alrededor del Sol alteran la energía que recibe el planeta.

**Figura 2.** Algunos de los modos naturales de variabilidad climática más estudiados (adaptada de la figura en UCAR 2015), y tendencia observada de la temperatura del aire en superficie en invierno para el período 1979-2013. Los modos identificados por sus acrónimos en inglés son: dos de ellos en el Océano Pacífico incluyen la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), y El Niño-Oscilación del Sur (ENSO); dos identificados en o sobre el Océano Atlántico son la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO), y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO); uno en el Océano Indico, conocido como el Dipolo del Océano Indico (OID); y dos modos en las latitudes altas de cada hemisferio, el Modo Anular del Norte u Oscilación del Artico (AO/NAM) y el Modo Anular del Sur (SAM). Se sabe que ENSO y OID deben su existencia a la interacción océano-atmósfera en el Pacífico ecuatorial e Indico ecuatorial respectivamente, y que modos tales como NAM (relacionado a la NAO) y SAM deben su existencia a la diferencia en temperaturas entre los trópicos y los polos correspondientes, pero aún no es claro cuales son las causas de los modos PDO y AMO aunque son modos que se identifican con importantes anomalías en las aguas de las latitudes medias de los océanos Pacífico y Atlántico respectivamente. Los modos de índole atmosférica como NAO, NAM y SAM no tiene un período claro (pues pueden durar de unas semanas hasta varios años), IOD y ENSO tienen períodos de alrededor de 2-3 y 2- 7 años respectivamente, y PDO y AMO de 20-30 y 50-70 años, respectivamente. La tendencia en las temperaturas del aire en superficie en invierno fueron obtenidas con datos del CRUTS3.22 (Reino Unido, Climate Research Unit Time Series versión 3.22 —Harris et al. 2014), y solo se muestran para indicar que modos de variabilidad con períodos largos como la PDO y AMO e incluso la NAO pueden contribuir realizando o debilitando las tendencias observadas dependiendo de sus fases relativas en éste u otro periodo.

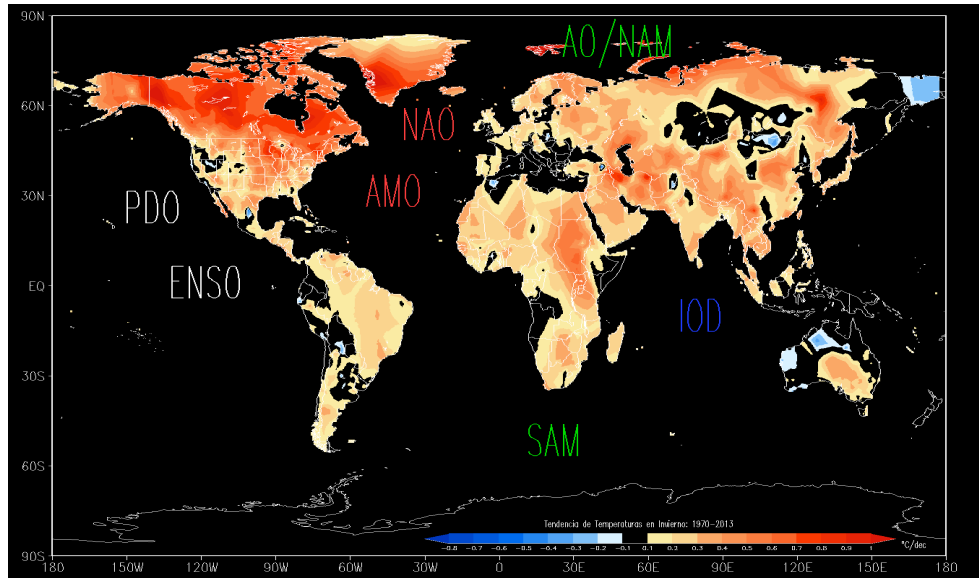
**Figura 3.** Anomalías de la temperatura de la superficie del océano y la lluvia en verano a) observadas en 2010, b) típicas de eventos de La Niña (fase negativa de ENSO), y c) típicas de la fase positiva de la AMO (adaptada de las figuras 2 y 3 en Ruiz-Barradas

2011). El verano de 2010 se caracterizó por lluvias anómalamente altas en prácticamente todo el estado de Veracruz, excepto en la zona centro. Las anomalías de las temperaturas del océano en el verano de 2010 son semejantes en su estructura a las de La Niña y de la AMO. Ambos modos de variabilidad producen aumento anómalo de las lluvias en las zonas norte y sur del estado, siendo un poco mayor el impacto de la AMO. Los rectángulos en las zonas del Pacífico ecuatorial ( $170^{\circ}$ - $120^{\circ}$ W,  $5^{\circ}$ S- $5^{\circ}$ N — conocida como Niño3.4) y el Atlántico Norte ( $75^{\circ}$ - $5^{\circ}$ W,  $0^{\circ}$ - $60^{\circ}$ N) se usan tradicionalmente para caracterizar ENSO y AMO en términos de promedios espaciales de las anomalías de las temperaturas superficiales del océano; a las anomalías en el Atlántico se les extrae la tendencia lineal y usualmente se filtran para realzar las escalas decadales pero en esta figura el filtrado se ha omitido. Anomalías son con respecto a la climatología del período 1950-2013. Sombreado azul/rojo indica anomalías frías/cálidas de las temperaturas y café/verde indica regiones con déficit/aumento de lluvia. Las anomalías de la lluvia se obtuvieron con datos del CRUTS3.22 (Harris et al. 2014), y las de la temperaturas del océano con los datos del HadISSTv1.1 (Hadley Center del Reino Unido —Rayner et al. 2003).

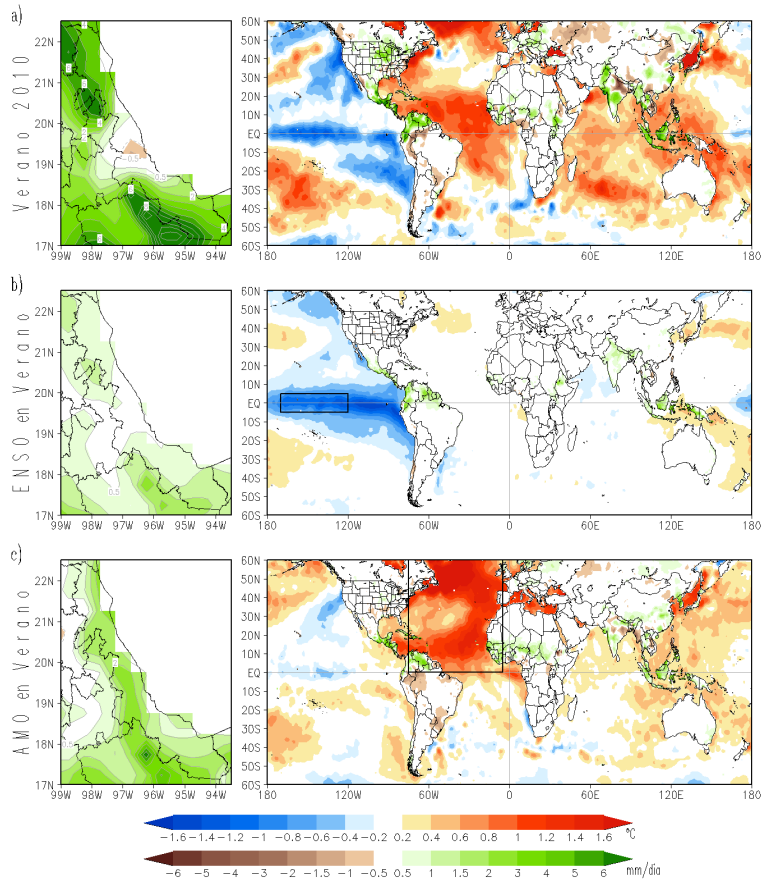




**Figura 1.** Elementos del sistema climático: atmósfera, hidrósfera (océano mas todas las otras fuentes de agua en el planeta), litósfera (parte sólida de la corteza terrestre), criósfera (hielo y nieve sobre el mar y continentes), biosfera (seres vivos). Las flechas azules indican las interacciones entre los distintos elementos del sistema que dan origen a la variabilidad natural del clima. Las flechas rojas indican el balance (o desbalance) energético del sistema climático debido a factores externos naturales o no: emisiones hacia la atmósfera por actividades humanas y erupciones volcánicas alteran la composición de la atmósfera y el tipo y cantidad de aerosoles en suspensión que alteran la energía que se recibe del Sol, su distribución y almacenamiento en el sistema climático; cambios astronómicos debidos a la precesión del eje de rotación del planeta y la excentricidad de la órbita alrededor del Sol alteran la energía que recibe el planeta..



**Figura 2.** Algunos de los modos naturales de variabilidad climática más estudiados (adaptada de la figura en UCAR 2015), y tendencia observada de la temperatura del aire en superficie en invierno para el período 1979-2013. Los modos identificados por sus acrónimos en inglés son: dos de ellos en el Océano Pacífico incluyen la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), y El Niño-Oscilación del Sur (ENSO); dos identificados en o sobre el Océano Atlántico son la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO), y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO); uno en el Océano Indico, conocido como el Dipolo del Océano Indico (OID); y dos modos en las latitudes altas de cada hemisferio, el Modo Anular del Norte u Oscilación del Artico (AO/NAM) y el Modo Anular del Sur (SAM). Se sabe que ENSO y OID deben su existencia a la interacción océano-atmósfera en el Pacífico ecuatorial e Indico ecuatorial respectivamente, y que modos tales como NAM (relacionado a la NAO) y SAM deben su existencia a la diferencia en temperaturas entre los trópicos y los polos correspondientes, pero aún no es claro cuales son las causas de los modos PDO y AMO aunque son modos que se identifican con importantes anomalías en las aguas de las latitudes medias de los océanos Pacífico y Atlántico respectivamente. Los modos de índole atmosférica como NAO, NAM y SAM no tiene un período claro (pues pueden durar de unas semanas hasta varios años), IOD y ENSO tienen períodos de alrededor de 2-3 y 2- 7 años respectivamente, y PDO y AMO de 20-30 y 50-70 años, respectivamente. La tendencia en las temperaturas del aire en superficie en invierno fueron obtenidas con datos del CRUTS3.22 (Reino Unido, Climate Research Unit Time Series versión 3.22 —Harris et al. 2014), y solo se muestran para indicar que modos de variabilidad con períodos largos como la PDO y AMO e incluso la NAO pueden contribuir realizando o debilitando las tendencias observadas dependiendo de sus fases relativas en éste u otro periodo.



**Figura 3.** Anomalías de la temperatura de la superficie del océano y la lluvia en verano a) observadas en 2010, b) típicas de eventos de La Niña (fase negativa de ENSO), y c) típicas de la fase positiva de la AMO (adaptada de las figuras 2 y 3 en Ruiz-Barradas 2011). El verano de 2010 se caracterizó por lluvias anómalamente altas en prácticamente todo el estado de Veracruz, excepto en la zona centro. Las anomalías de las temperaturas del océano en el verano de 2010 son semejantes en su estructura a las de La Niña y de la AMO. Ambos modos de variabilidad producen aumento anómalo de las lluvias en las zonas norte y sur del estado, siendo un poco mayor el impacto de la AMO. Los rectángulos en las zonas del Pacífico ecuatorial (170°-120°W, 5°S-5°N —conocida como Niño3.4) y el Atlántico Norte (75°-5°W, 0°-60°N) se usan tradicionalmente para caracterizar ENSO y AMO en términos de promedios espaciales de las anomalías de las temperaturas superficiales del océano; a las anomalías en el Atlántico se les extrae la tendencia lineal y usualmente se filtran para realzar las escalas decadales pero en esta figura el filtrado se ha omitido. Anomalías son con respecto a la climatología del período 1950-2013. Sombreado azul/rojo indica anomalías frías/cálidas de las temperaturas y café/verde indica regiones con déficit/aumento de lluvia. Las anomalías de la lluvia se obtuvieron con datos del CRUTS3.22 (Harris et al. 2014), y las de la temperaturas del océano con los datos del HadISSTv1.1 (Hadley Center del Reino Unido —Rayner et al. 2003).