

Meteorología, socioeconomía y gestión del riesgo de desastres del evento El Niño Oscilación del Sur en Colombia

Rubén Azcárate,^{1*} Angélica Mejía-Fajardo²

¹Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Departamento de Ciencias Naturales y Ambientales. Bogotá D. C., Colombia.

²Comisión Colombiana del Océano, Asesora área de gestión integral del territorio marino costero, Bogotá D. C., Colombia.

*Autor para correspondencia: ruben.azcarate@utadeo.edu.co

RESUMEN

El Niño Oscilación del Sur (ENOS) es un evento de variabilidad climática interanual. En Colombia durante la fase cálida “El Niño” se atenúan los períodos lluviosos e intensifican los secos sin seguir un patrón común en las regiones Andina, Caribe y en la parte norte de la región Pacífica mientras que en la fase fría “La Niña” sucede lo contrario, se intensifican las lluvias y se atenúa la época seca. Estos eventos han generado efectos perjudiciales en los sectores económicos agropecuario, energético, transporte, vivienda y ambiental. Desde la década de los 80 se hizo evidente fortalecer los sistemas de monitoreo meteorológico, los modelos de predicción y desarrollar los planes de contingencia de respuesta ante emergencias. Sin embargo, para que los modelos de predicción climática sean más acertados es necesario que las mediciones *in situ* sean continuas y estandarizadas, además de la generación de índices socioeconómicos que permitan mejorar las medidas de gestión del riesgo de desastres sociales, físicos y ambientales generados por eventos extremos en el país asociados al ENOS.

Palabras clave: variabilidad climática, modelos de predicción, sectores económicos, gestión del riesgo

Editor: Hernández Fernández, J.
javier.hernandez@utadeo.edu.co

Citation: Azcárate, R., Mejía-Fajardo, A. (2016). Meteorología, socioeconomía y gestión del riesgo de desastres del evento El Niño Oscilación del Sur en Colombia. *Mutis* 6(2), 95-109, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1154>

Received: Mayo 28, 2016. **Accepted:** Julio 29, 2016. **Published on line:** Septiembre 30, 2016.

Copyright: ©2016: Azcárate, R., Mejía-Fajardo, A.. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.

Meteorology, socioeconomics and disaster risk management of the El Niño Southern Oscillation in Colombia.

ABSTRACT

The El Niño Southern Oscillation (ENSO) is a climate variability event. In Colombia during the warm phase “El Niño” rainy periods are dimmed and intensify dry without following a common pattern in the Andean, Caribbean and the north-Pacific regions while the cold phase “La Niña” opposite happens, rains intensify and the dry season is attenuated. These events have generated adverse effects on the agriculture, energy, transport, housing and environmental economic



sectors. Since the 80s it became evident to strengthen the weather monitoring systems, predictive models and develop the contingency plans for emergency response. However, in order to get more accurate climate prediction models it is necessary that the *in situ* measurements are continuous and standardized, in addition to the generation of socio-economic indices to improve risk management of social, physical and environmental disasters generated by these extreme events in the country associated to ENSO.

Keywords: climate variability, predictive models, economic sectors, risk management

INTRODUCCIÓN

Colombia recibe la influencia directa de los procesos involucrados en el acoplamiento océano-atmósfera del Pacífico tropical asociados al evento El Niño Oscilación del Sur (ENOS); causante de la mayor señal de variabilidad climática en la escala interanual a través de sus dos fases: El Niño y La Niña, vinculados a la aparición de aguas superficiales en el Pacífico tropical central y oriental más cálidas o más frías—respectivamente— frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia (Díaz y Markgraf, 2000; Kovats *et al.*, 2003; Montealegre, 2007). Además, durante El Niño se presenta el debilitamiento a gran escala de los vientos Alisios y desplazamiento del núcleo de convección profunda del oeste hacia el centro del océano. En contraste, durante La Niña los Alisios se intensifican y el núcleo de convección se mantiene al oeste (Maturana *et al.*, 2004; Montealegre, 2007; Montealegre, 2012; Pinilla y Pinzón, 2012; Alonso-Másmela, 2014).

En general, la intensidad de los eventos ENOS está directamente ligada con la magnitud de las anomalías registradas en la temperatura superficial del mar (TSM), subsuperficial del océano (Montealegre, 2014) y de influencias azarosas diferentes a las del efecto climático como los efectos negativos sobre el medio físico natural y socioeconómico que están más relacionados con la vulnerabilidad de las diferentes regiones de Colombia y de sus sectores económicos (UNGRD, 2015).

Por lo anterior, existe la necesidad de fortalecer los mecanismos de monitoreo y predicción de variabilidad climática en el país integrando los esfuerzos y

capacidades de instituciones de orden técnico-científicas con el fin de generar información que permita preparar y prevenir a la comunidad nacional ante los eventos ENOS y sus efectos, buscando atenuar sus impactos ambientales y socioeconómicos (CCO, 2014). Las alertas y comunicados nacionales acerca del El Niño o La Niña se emiten con base en los reportes de distintas instituciones internacionales: NOAA, IRI, CP-TEC y el ECMWF, entre otros; las cuales estudian principalmente las condiciones del Pacífico en las regiones centro-occidental y central (Montealegre, 2007; Jiménez, 2008; Montealegre, 2012; Alonso-Másmela, 2014) debido a que evidencian los contrastes por la termodinámica oceánica y sus repercusiones globales al punto de faltar consenso científico mundial respecto al tipo de índice a utilizar porque algunos se basan en la magnitud de las anomalías oceánicas, atmosféricas, mixtas, en la magnitud del efecto climático o el impacto económico generado (Montealegre, 2014). Por lo cual Colombia debe generar índices que describan las condiciones océano-atmosféricas locales oportunamente.

DISCUSIÓN

Desarrollo de investigaciones sobre ENOS en Colombia

Un modo directo de mitigar el impacto socioeconómico generado por la variabilidad interanual de la precipitación es la predicción climática (UNGRD, 2015). La necesidad de elaborar predicciones de tipo climático en Colombia existe desde el evento El Niño de 1982-1983 pero se hizo evidente a raíz del severo efecto sobre las lluvias, la temperatura del aire y absorción de radiación solar que se produjo por el evento ocurrido en 1991-1992 —el cual provocó significativas repercusiones económicas, particularmente en el sector hidroenergético y termoenergético del país— (CAF, 1998). Los primeros esfuerzos consistían en la aplicación de modelos e incluir algunos aspectos relacionados con la variabilidad climática estacional e interanual en los pronósticos climáticos y de caudales de esa época (Montealegre, 2012; UNGRD, 2015), insuficientes para tomar las decisiones gubernamentales de preparación y prevención ante los efectos del próximo evento El Niño o La Niña.

En 1997 el IDEAM prevé la ocurrencia de un evento El Niño durante ese mismo año, asumiendo desde entonces la responsabilidad de suministrar información

de eventos ambientales, a partir de lo cual se resaltan los informes de CAF (1998) y CEPAL (1999) consolidándose la capacidad nacional de predicción del efecto climático de los eventos ENOS. A raíz de las repercusiones del fuerte evento El Niño ocurrido en 1997-1998 se dio origen a estudios que contenían lo publicado sobre el tema hasta ese momento. Orientadas hacia el análisis de la frecuencia de las alteraciones mensuales de precipitación en diferentes regiones del país (Pabón y Montealegre, 1998; Montealegre, 2014), se produjeron predicciones con probabilidades superiores hasta del 75%. En la década siguiente, el IDEAM difunde el “Programa Integral Multidisciplinario para el estudio sobre el fenómeno El Niño”, que incluía un plan de acción de 10 años (IDEAM, 2003) y actualizó el componente meteorológico del modelo para mejorar la resolución y análisis de anomalías en las precipitaciones durante épocas secas y lluviosas en diferentes regiones del país (Montealegre, 2007; CPPS, 2015; IDEAM, 2015).

En el 2004 Cardona *et al.* permitieron a través del seguimiento de cinco desastres de gran magnitud (no ENOS), desde sus orígenes hasta sus consecuencias y costos, dar enfoque socioeconómico a la gestión del riesgo de desastres (GRD) del país dando lugar a grandes estudios como los del BID y CEPAL (2006), Caicedo (2007) y Pabón y Torres (2007) que cubren las afectaciones en el territorio colombiano durante el siglo XX.

Desde 2010, los estudios publicados e informes institucionales de gran escala en el país como Euscátegui

y Hurtado (2011), Moreno-R y Cardona-A (2011), CEPAL (2012), Yamin *et al.* (2013), Montealegre (2014), IDEAM (2015) y UNGRD (2015), tienen una dirección y visión integradas para el desarrollo de conocimiento y acción del gobierno ante situaciones de riesgo de desastres con ejecución de la Política para la Gestión del Riesgo de Desastres (Congreso Nacional, 2012) en conjunto con la creación del SNGRD. La Comisión Colombiana del Océano como punto focal de cooperación interinstitucional nacional e internacional sobre el ENOS, emite, elabora y difunde mancomunadamente con las entidades del Comité Técnico Nacional para el Estudio del Fenómeno de El Niño (CTN-ERFEN) los comunicados nacionales correspondientes con el objetivo de dar información actualizada y de fácil entendimiento para que las entidades tomadoras de decisiones ejecuten las acciones de respuesta oportunas y adecuadas. En 2015, se evidenció esta cooperación interinstitucional en el comunicado emitido en marzo en el que se consolidó la declaración de situación de alerta ENOS para Colombia, iniciando como un evento El Niño de intensidad débil, que alcanzó la categoría de “fuerte” en octubre del mismo año, y estimándose que duraría hasta marzo de 2016 (Figura 1) (CTN-ERFEN, 2015; IDEAM, 2015; IRI, 2015). Actualmente el IDEAM indica condiciones de neutralidad en el Pacífico tropical, con una probabilidad significativa de presentarse en agosto condiciones propicias para el inicio de un evento La Niña, el cual podría consolidarse al final del 2016 (IDEAM, 2016b).

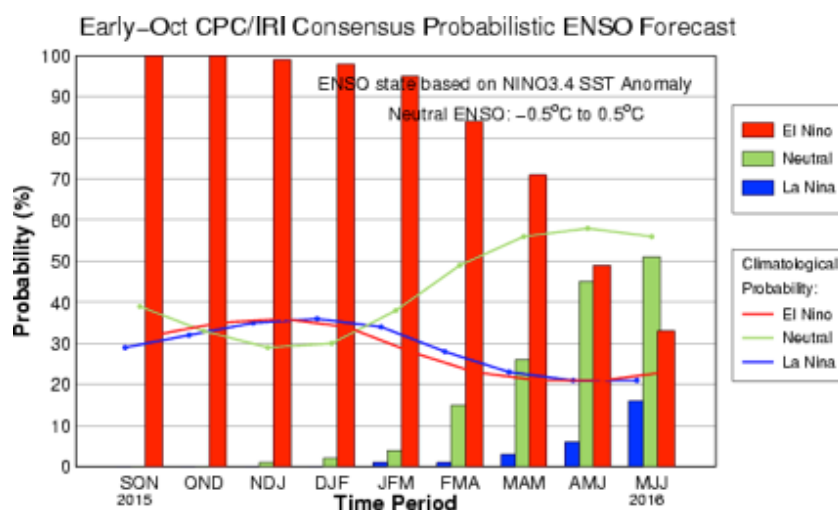


Figura 1. Pronóstico ENOS para la ocurrencia de un evento cálido basado en la proyección de anomalías de la TSM en la región 3.4 en inicios de octubre (IRI, 2015).

Desarrollo del ciclo ENOS y su efecto climático en Colombia

Los eventos El Niño y La Niña son parte del sistema global climático. Acontecen cuando el océano Pacífico y su componente atmosférico cambian su estado 'neutral' por diversas razones y estos cambios son conocidos como el ciclo ENOS (BOM, 2016). La fase cálida del ciclo ENOS (El Niño) es un evento océano-atmosférico, caracterizado por el debilitamiento a gran escala de los vientos Alisios y calentamiento superficial del mar en el océano Pacífico ecuatorial del este y central (Figura 2A), evidenciado a través de anomalías positivas de la TSM (Maturana *et al.*, 2004; Pinilla y Pinzón, 2012; IDEAM *et al.*, 2014).

La Niña es un evento oceanográfico que produce una intensificación del funcionamiento de la celda de Walker, reforzamiento de los vientos Alisios, acumulación de aguas cálidas al oeste del Pacífico y fortalecimiento de la surgencia frente a las costas ecuatoriales (Figura 2B). Como consecuencia de esto, disminuye la profundidad de la termoclina y se observa la presencia de anomalías negativas de TSM y del nivel del mar en dicho sector (Maturana *et al.*, 2004), se manifiesta principalmente en condiciones atmosféricas más secas que lo normal alrededor del trópico y a lo largo de las latitudes subtropicales de América del Sur y al mismo tiempo, la lluvia es muy abundante sobre Indonesia, Malasia y Norte de Australia (CAF, 1998; Maturana *et al.*, 2004; IDEAM *et al.*, 2014).

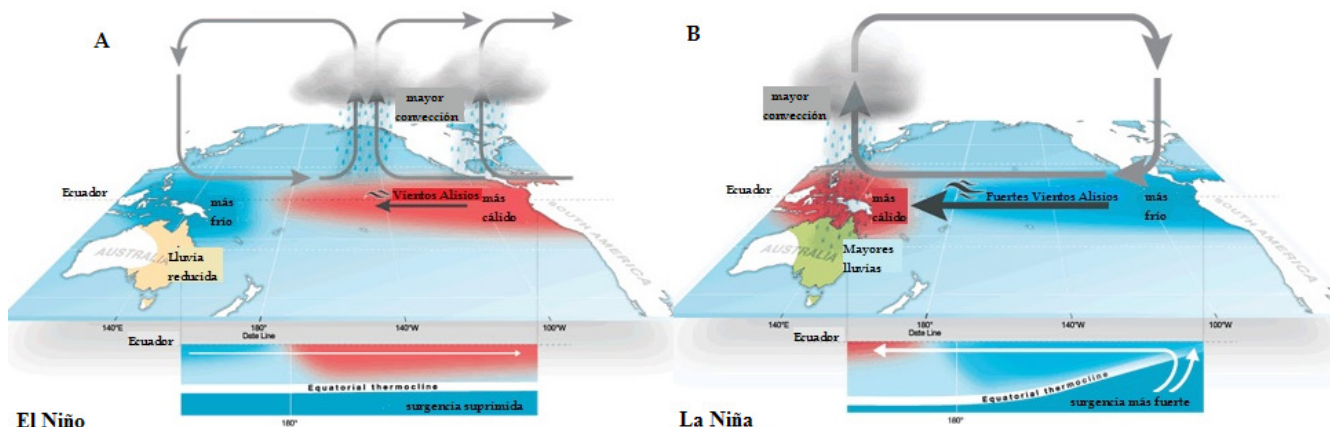


Figura 2. Condiciones ENOS A) El Niño y B) La Niña (modificado de BOM, 2016).

Algunos de los factores claves en la generación del ENOS es el debilitamiento, inversión de dirección o fortalecimiento de los vientos Alisios del este inducido por variaciones del viento de la zona tropical en diferentes escalas espacio-temporales; entre lo más influyentes en la escala interestacional se encuentran las ondas Madden-Julian, en la escala interanual la oscilación cuasibienal (QBO) del viento zonal en la estratosfera inferior, la oscilación cuasibienal en la troposfera (TBO) y en ocasiones las erupciones volcánicas (Pabón y Montealegre, 2013; Gabis, 2015). Adicionalmente, en la escala interdecadal los procesos del sistema climático global como la oscilación decadal del Pacífico (PDO) guarda estrecha relación con la variabilidad de las condiciones ENOS (Dean y Kemp, 2004; Montealegre, 2014).

El clima de Colombia es muy variado, tanto a lo largo de su territorio como en su expresión temporal. Esta diversidad climática está determinada en gran medida por la ubicación geográfica en la zona ecuatorial y por las características fisiográficas del territorio colombiano (CAF, 1998; CEPAL, 1999; IDEAM, 1997; CCO, 2011; Alonso-Másmela, 2014). El ciclo hidrológico anual es controlado por la Zona de Convergencia Inter-Tropical (ZCIT), los patrones orográficos de los Andes, la interacción oceánica con una circulación de tipo monzónico en la región costera Pacífica que aporta humedad al sur de la vertiente de la cordillera occidental, la evapotranspiración de la cuenca Amazónica constituida como una rica fuente de humedad que generan un comportamiento bimodal de precipitación durante el año en la mayor parte de la región Andina y Caribe y monomodal en la Orinoquía y Amazonía (IDEAM, 2002; Poveda *et al.*, 2002; CCO, 2011; IDEAM, 2012; Hoyos *et*

al., 2013). Estos factores de escala estacional o anual en conjunto con la variabilidad interanual (causada por el ciclo ENOS), afectan considerablemente las actividades socioeconómicas nacionales y hacen del clima de Colombia en extremo heterogéneo y dinámico (CAF, 1998; CEPAL, 1999; BID, 2010; IDEAM, 2012).

Durante el ENOS la afectación del régimen de lluvias no sigue un patrón común, es diferencial a lo largo y ancho del territorio nacional (Caicedo, 2007; Alonso-Másmela, 2014). Durante El Niño hay déficit en los volúmenes de precipitación en las regiones Andina, Caribe y en la parte Norte de la región Pacífica. En contraste con la situación anterior, generalmente las lluvias son más abundantes de lo tradicional en el sur de la región Pacífica colombiana, en la vertiente oriental de la cordillera Oriental y en algunos sectores de la Amazonia (CAF, 1998; Hurtado y González, 2010; Euscátegui y Hurtado, 2011; León-Aristizábal, 2011; Montealegre, 2012; IDEAM, 2012; IDEAM *et al.*, 2014; CTN-ERFEN, 2015). Las sequías ocasionadas por la reducción de lluvias y las heladas producto de la disminución drástica de temperaturas en horas de la madrugada afectan drásticamente la producción agropecuaria en todo el país (CAF, 1998; Barrero-P, 2005;

BID y CEPAL, 2006; Pabón y Torres, 2007; Meza *et al.*, 2010; IDEAM, 2012; Ortega-Gaucin y Velasco, 2013).

Pronóstico climático y monitoreo de ENOS

Para pronosticar y monitorear las condiciones ENOS existen índices basados en cuatro regiones del Pacífico tropical (Figura 4), la región occidental o Niño 4, la región centro-occidental o Niño 3.4/ONI, región central o Niño 3, caracterizada por presentar las máximas anomalías en la TSM, el calentamiento en esta región influye en la atmósfera global, siendo probablemente el mejor indicador individual de un episodio ENOS en relación a las precipitaciones para el país, y la región oriental o Niño 1+2 (Poveda *et al.*, 2002; Jiménez, 2008; Meza *et al.*, 2010; Montealegre, 2012; Montealegre, 2014), indicadora de los cambios inducidos por El Niño en los patrones de la variabilidad de la costa del Pacífico de Suramérica que incluye las costas de Perú y Ecuador junto con las islas Galápagos (Jiménez, 2008). La región Niño 3.4 ubicada entre las regiones Niño 4 y 3, se emplea como un indicador de la correlación entre la TSM y el índice El Niño oceánico (ONI) (NOAA, 2015).

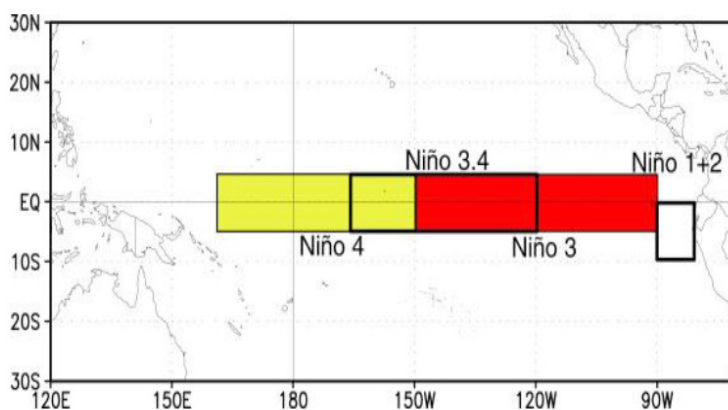


Figura 3. Regiones El Niño definidas para el seguimiento y vigilancia del evento cíclico ENOS (NOAA, 2016b).

Se han desarrollado índices oceánicos, atmosféricos y multivariados, algunos de los cuales son calculados utilizando un periodo base que es un intervalo de referencia que abarca el promedio de 30 años de datos. Entre los oceánicos el índice El Niño oceánico (ONI) es el más utilizado, se calcula como la media móvil de tres meses de las anomalías de TSM medidas *in situ* en la región 3.4 delimitando los episodios como fríos o cálidos (Figura 4) basados en un umbral de ± 0.5 °C durante

mínimo cinco temporadas superpuestas consecutivas (Montealegre, 2007, 2012; NOAA, 2015). Sin embargo, en 2015 la NOAA recalculó el ONI histórico articulándolo con otros índices que permitieron encontrar consistencias del acoplamiento océano-atmósfera de los eventos ENOS expeditados en EEUU. En contraste, para Colombia el cambio del registro histórico ENOS presenta inconsistencias con algunos de los eventos declarados, por tal motivo en el país se continúa utilizando el

registro anterior del índice ONI de la NOAA—versión 3b (Hoyos *et al.*, 2013; NOAA, 2016a).

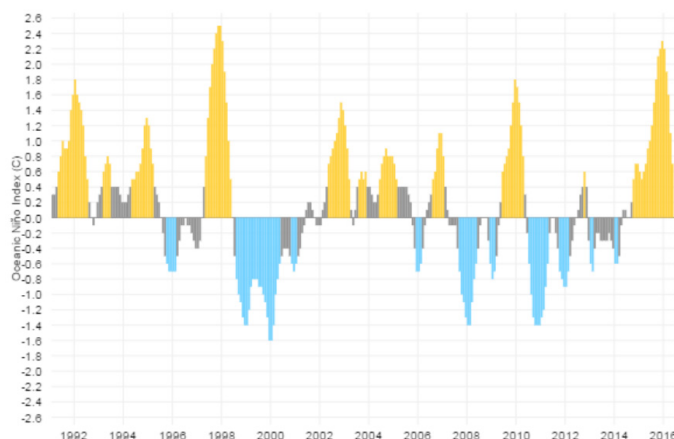


Figura 4. Índice de Oceanico El Niño (ONI) desde 1990 - 2016 (Dahlman, 2016).

Desde 1950 se han reportado en total 20 eventos El Niño y 17 La Niña (Tabla 1) por medio de este índice (Hoyos *et al.*, 2013; NOAA, 2016a). El IDEAM clasifica los eventos ENOS como débiles, moderados o fuertes con base en la desviación estándar (σ) de la serie de anomalías de la temperatura superficial del mar

(aTSM) en la región Niño 3. Siendo débiles aquellos con valores de aTSM entre $1.0\sigma < aTSM \leq 1.5\sigma$ (equivalente a ± 1.03 a $\pm 1.48^\circ\text{C}$), moderados entre $1.5\sigma < aTSM \leq 2.0\sigma$ (± 1.49 a $\pm 1.94^\circ\text{C}$) y fuertes con $aTSM > 2.0\sigma$ ($> \pm 1.94^\circ\text{C}$) (Montealegre, 2014).

Tabla 1. Magnitudes y valores de anomalías ONI máximas alcanzadas durante eventos cálidos (El Niño) y fríos (La Niña) desde 1950, de la versión 3b (modificado de NOAA, 2016a).

El Niño			La Niña		
Fecha	Valor ONI	Magnitud	Fecha	Valor ONI	Magnitud
1951-52	1.2	Débil	1949-50	-1.4	Débil
1953-54	0.8	Débil	1950-51	-0.8	Débil
1957-58	1.8	Fuerte	1954-56	-1.7	Moderada
1958-59	0.6	Débil	1964-65	-0.8	Débil
1963-64	1.4	Moderado	1970-72	-1.3	Moderada
1965-66	1.9	Fuerte	1973-74	-2.0	Fuerte
1968-70	1.1	Débil	1974-76	-1.7	Fuerte
1972-73	2.1	Fuerte	1983-84	-0.9	Débil
1976-77	0.8	Débil	1984-85	-1.1	Débil
1977-78	0.8	Débil	1988-89	-1.9	Fuerte
1982-83	2.2	Fuerte	1995-96	-0.9	Débil
1986-88	1.6	Moderado	1998-2001	-1.7	Moderada
1991-92	1.6	Moderado	2005-06	-0.9	Débil
1994-95	1.2	Débil	2007-08	-1.5	Moderada
1997-98	2.4	Fuerte	2008-09	-0.8	Débil
2002-03	1.3	Moderado	2010-11	-1.5	Fuerte
2004-05	0.7	Débil	2011-12	-1.0	Moderada
2006-07	1.0	Débil			
2009-10	1.6	Moderado			
2014-16	2.5	Fuerte			

El índice atmosférico de oscilación del sur (SOI) (Figura 5) es calculado como las diferencias normalizadas entre la presión atmosférica medida en Tahití (Polinesia francesa, representa el sector central del Pacífico tropical) y Darwin (norte de Australia, representa el sector occidental) y es un indicador de las fluctuaciones de la masa atmosférica entre los sectores centro-oriental y occidental del Pacífico (Maturana *et al.*,

2004; Montealegre, 2007; NOAA, 2015). Es frecuentemente utilizado debido a que su registro comprende más de 120 años, lo que ha permitido detectar la considerable variabilidad interdecadal de los ciclos ENOS y su relación con perturbaciones sobre la circulación atmosférica global e implicaciones socioeconómicas y ambientales en casi todo el planeta.

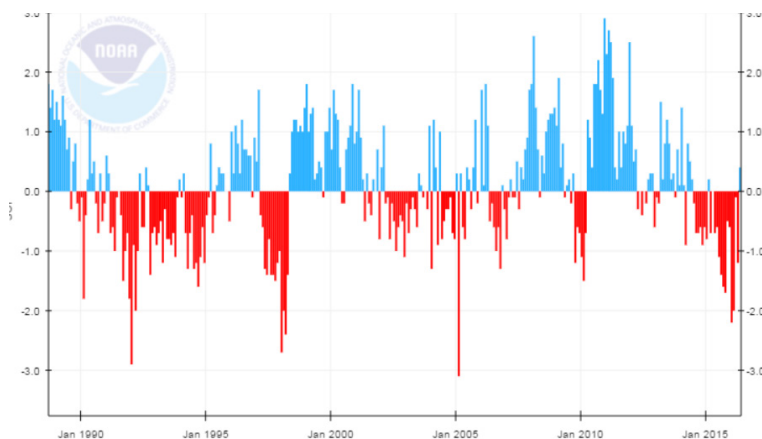


Figura 5. Índice de Oscilación del Sur (SOI) desde 1990 - 2016 (NOAA, 2016b).

Los índices de carácter mixto involucran tanto variables atmosféricas como oceánicas en su composición. Uno de los más conocidos internacionalmente es el índice MEI (Multivariate ENOS Index) (Montealegre, 2014). Adicionalmente, Colombia utiliza el índice Multivariado de Tumaco (IMT) del CCCP/Dimar desarrollado por Rodríguez-Rubio (2013) para manifestar anomalías de las condiciones locales (CCCP, 2014), el cual ha sido empleado por más de una década. Además, se han realizado 18 cruceros ERFEN lo que ha permitido el fortalecimiento del IMT y la toma de datos océano-atmosféricos para la predicción temprana del ENOS en Colombia.

Los índices atmosféricos, oceánicos y multivariados son utilizados en conjunto para desarrollar los pronósticos de acuerdo con las regiones El Niño evaluadas. Las primeras señales de un evento El Niño o La Niña emergente son observados en el océano a través de indicadores de menor escala espacio-temporal como las precipitaciones, temperatura del agua en superficie y profundidad, contenido de calor del océano, presión atmosférica, nubosidad, fuerza de los vientos Alisios y otros vientos en la atmósfera (BOM, 2016) que proveen información de las condiciones actuales ENOS y funcionan como variables de los modelos uti-

lizados para predecir las condiciones climáticas de los meses ulteriores. Información que se obtiene a partir de satélites, boyas, análisis de observaciones meteorológicas y del nivel del mar de una amplia red de sistemas de observación nacionales e internacionales. Los centros meteorológicos mundiales utilizan los datos de otros de menor categoría para complementar sus bases de datos y mejorar la precisión y cobertura de sus pronósticos.

La simulación de la evolución atmosférica se hace mediante modelos numéricos de circulación que resuelven las ecuaciones de respuesta del clima a forzamientos externos como cambios en la TSM, radiación solar, concentraciones de gases de efecto invernadero, etc., para obtener los estados futuros de la atmósfera (León-Aristizábal, 2016). Estos modelos proyectan adecuadamente las principales condiciones atmosféricas pero son imprecisos a escala regional o de áreas limitadas, *e. g.* Colombia, por lo cual para aumentar la resolución y confiabilidad de las predicciones se utilizan también modelos climáticos regionales. El IDEAM basa sus predicciones en el modelo climático global CAM y los modelos climáticos regionales CWRf y CMM5 para simular el clima y realizar las predicciones climáticas (Rojas-Ruíz, 2012;

León-Aristizábal, 2016). También, a través de técnicas estadísticas se infiere el estado futuro atmosférico utilizando las series de registros históricos observados durante al menos 30 a 35 años en una región de interés por medio del modelo estadístico de análisis de correlación canónica (ACC) cuyo pronóstico probabilístico expresa el porcentaje y la probabilidad de que acontezca la condición de precipitación o temperatura (Badii *et al.*, 2007; León-Aristizábal, 2016) sin tener en cuenta eventos extremos causados como por ejemplo aquellos asociados al ENOS que inciden de manera directa o indirecta en la dinámica atmosférica y socioeconómica del país.

Efectos socioeconómicos de los eventos ENOS

En Colombia los eventos El Niño han generado efectos perjudiciales a lo largo de los años de incidencia en muchos sectores económicos (Bitrán-Bitrán, 1992; CAF, 1998; Caicedo, 2007; Jiménez, 2008; Meza *et al.*, 2010; MinAmbiente, 2002; Pabón y Torres, 2007; IDEAM, 2012; Ruiz y Pabón, 2013; Alonso-Másmela, 2014; Montealegre, 2014; CPPS, 2015). Se eleva la cantidad de productos importados y disminuyen los exportados (petróleo, café, carbón), causando depreciación del PIB (CAF, 1998; Caicedo, 2007; IDEAM, 2012; Pabón y Torres, 2007), asociado a mayores tasas de desempleo urbano en las principales áreas metropolitanas, pero menores por participación ciudadana en la recuperación *ex post* de un ENOS (Banco de la República de Colombia, 2015).

Indirectamente se inducen cambios en las condiciones de las aguas costeras del Pacífico, que tienen efecto apreciable en el ambiente marino, repercutiendo en la distribución de especies planctónicas y bentónicas como camarón, peces y de rutas migratorias largas como tortugas marinas y ballenas. Los corales sufren blanqueamiento debido a las altas temperaturas. Sucesión de especies también es observada (IDEAM, 2002; Jiménez, 2008) en períodos largos de sequías, migran poblaciones de aves, peces y artrópodos, algunas de las cuales no soportan los choques térmicos, reduciéndose drásticamente sus poblaciones (Jiménez, 2008). El crecimiento económico y el ingreso generado durante eventos ENOS son menores que en épocas previas a estos, afectando la producción petrolera, construcción, producción agrícola y pesquera.

A pesar de conocerse los efectos socioeconómicos que los eventos ENOS pueden generar, existen vacíos de información económica sectorial, de monitoreo y seguimiento de las condiciones climáticas en varias regiones del país, haciendo compleja la cuantificación de los costos de prevención y/o recuperación de daños debido a que implica la trazabilidad y medición de la productividad de cada sector y de los procesos administrativos locales y regionales que gestionan la disponibilidad y finalidad de los recursos económicos.

Sectores económicos más impactados en las regiones colombianas

Muchos sectores y subsectores económicos son afectados durante un evento ENOS de acuerdo a la región del país (Tabla 2). Se afectan en mayor medida el sector Agropecuario en términos de producción agrícola, lechera y pesquera. La Salud, Agua y Energía dada la sequía que reduce notoriamente los aportes a embalses, demandando racionamientos energéticos y aumentando brotes de enfermedades. La Vivienda en los lugares susceptibles de presentar riesgos por inundaciones y deslizamientos. El Transporte dado que los volúmenes de carga transportados disminuyen junto con los caudales en canales navegables. Y el subsector Ambiente donde se juega un papel importante en sinergia con los efectos de los eventos ENOS, lo cual se observa en el aumento de incendios forestales en regiones de sequías causando deterioro y pérdida de fauna y flora en Colombia (Bitrán-Bitrán, 1992; CAF, 1998; IDEAM, 2002; MinAmbiente, 2002; Barrero-P, 2005; BID y CEPAL, 2006; Caicedo, 2007; Pabón y Torres, 2007; Jiménez, 2008; Meza *et al.*, 2010; IDEAM, 2012; Ortega-Gaucin y Velasco, 2013; Ruiz y Pabón, 2013; Alonso-Másmela, 2014; Montealegre, 2014; UNGRD, 2014; CPPS, 2015).

Tabla 2. Impacto socioeconómico esperado por eventos ENOS en las regiones de Colombia.

REGIONES	AMENAZA	EFEECTO	ELEMENTOS VULNERABLES	IMPACTO
Sector marino y costero del Pacífico	Aumento TSM y T sub-superficial del mar ($\pm 2-3$ °C)	Desaparición de spp. marinas, aparición de mareas rojas y spp. poco comunes y blanqueamiento de coral	Sector pesquero. Ecosistemas marinos	Reducción en la producción pesquera y acuícola. Deterioro de ecosistemas marino-costeros
Centro y sur de la costa Pacífica	Aumento del nivel medio del mar (20-30 cm)	Inundaciones, alto oleaje y erosión hídrica costera	Infraestructura costera. Población y asentamientos humanos	Pérdida de vivienda, muebles y enseres, de cultivos en zonas bajas
Caribe y Andina	Aumento de la temperatura del aire en horas del día ($\pm 2-3$ °C)	Oleadas de calor e incendios forestales	Asentamientos humanos. Salud humana.	Alteración de bioclima, incremento de malaria y dengue, pérdida de material vegetal
Altiplanos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño	Disminuciones de T° del aire en horas de la noche	Mayor frecuencia temperaturas mínimas absolutas (heladas)	Sector agrícola y salud humana	Enfermedades respiratorias aumentan. Reducción de la producción de flores, hortalizas, tubérculos, cereales, etc.
Caribe Andina	Aumento de la radiación solar	Aumento de radiación UV, retroceso de glaciares	Población y asentamientos humanos	Enfermedades de la piel, desabastecimiento de agua dulce
Caribe, Andina, Pacífica Norte	Reducción de los volúmenes mensuales de precipitación (20-40% o >60%)	Menor oferta hídrica, caudales y niveles de los ríos. Aumento de aguas estancadas e incendios forestales	Sector de agua potable, energético, transporte y salud. Población y asentamientos humanos. Cobertura vegetal y suelos	Contaminación por sedimentación en ríos y acueductos municipales. Aumento de malaria y dengue. Reducción de navegación fluvial y producción hidroenergética
Caribe y Andina	Reducción humedad	Alteración balance hídrico e incendios forestales	Sector agrícola. Cobertura vegetal y suelos	Baja producción agrícola. Pérdida de biomasa
Pacífica Sur, Piedemonte Llanero y Amazónico	Aumento de los volúmenes mensuales de precipitación	Inundaciones y avalanchas	Sector transporte. Población y asentamientos humanos.	Pérdida de viviendas, muebles y enseres, deterioro de la malla vial

La población más susceptible es la más precaria. Los daños económicos y poblacionales originados son de difícil cuantificación dado los racionamientos, bajas de presión en sistemas, deficiencia de cantidad, calidad y continuidad del servicio y suministros en relación con la pérdida de calidad de vida. Como consecuencia, los departamentos de Atlántico, La Guajira, Cesar, Bolívar, Boyacá, Norte de Santander, Cundinamarca y Sucre tienden a presentar mayores áreas en condiciones deficitarias (Figura 6) en términos de planeación adecuada y preparación ante los riesgos de eventos extremos (UNGRD, 2015). Por medio de la implementación de índices socioeconómicos multivariados se pueden evaluar los riesgos económicos, la vulnerabilidad social y ambiental para gestionar planes de contingencia sectoriales y regionales.

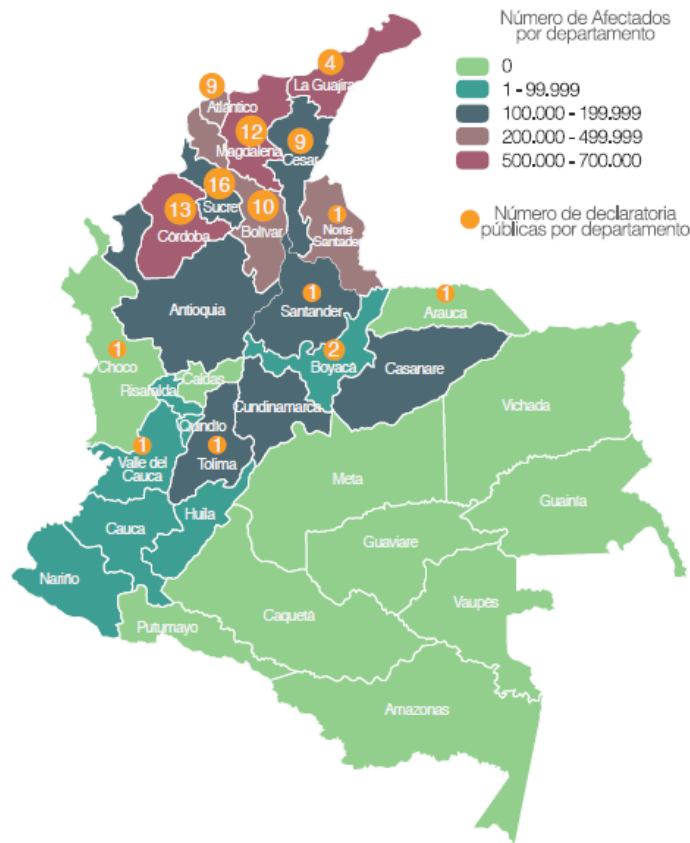


Figura 6. Número de personas afectadas en los departamentos colombianos durante El Niño 2014-2016 (UNGRD, 2015).

Índices socioeconómicos para la gestión del riesgo de desastres

El riesgo de los desastres no depende únicamente de la posibilidad de presentarse eventos intensos, sino también de las condiciones de vulnerabilidad que favorecen o facilitan el desencadenamiento de desastres cuando se presentan estos eventos (Súarez-Olave, 2003; Marulanda y Cardona, 2006; BID, 2015). La vulnerabilidad está profundamente ligada a procesos sociales desarrollados en las áreas propensas y con menor capacidad de respuesta ante emergencias — los desastres son eventos socioambientales cuya materialización es el resultado de la construcción social del riesgo— (BID, 2011, 2015). Por lo tanto, su reducción debe hacer parte de los procesos de toma de decisiones, no sólo en el caso de reconstrucción *ex post*, sino también en la formulación de políticas públicas y la planificación del desarrollo. Haciéndose necesario fortalecer el desarrollo institucional y estimular la inversión para la reducción de la vulnerabilidad con

finde contribuir a la sostenibilidad económica del país.

Con el objetivo de mejorar el entendimiento del riesgo de desastre y el desempeño de la GRD en Colombia, un sistema de indicadores transparente, representativo y robusto, de fácil comprensión por los formuladores de políticas públicas y que permiten la comparación entre países, fue desarrollado por el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia por Suárez-Olave (2003), Cardona *et al.* (2004) y Marulanda y Cardona (2006) y que son utilizados actualmente (BID, 2015). El sistema tiene cuatro índices compuestos y refleja los principales elementos que representan la vulnerabilidad y el desempeño de cada país en materia de gestión del riesgo: 1) El Índice de Déficit por Desastre (IDD) refleja el riesgo macroeconómico ante eventos catastróficos en términos de capacidad financiera para hacer frente a la situación, 2) El Índice de Desastres Locales (IDL) captura la problemática de riesgo socioambiental de-

rivada de los eventos frecuentes menores que afectan los estratos socioeconómicos más frágiles, 3) El Índice de Vulnerabilidad Prevalente (IVP) constituido por una serie de indicadores caracterizadores de las condiciones prevalecientes de vulnerabilidad de las áreas del país y 4) El Índice de Gestión de Riesgo (IGR) refleja la organización de la gestión del riesgo, su capacidad, desarrollo y acción institucional para reducir la vulnerabilidad y pérdidas. La limitación de la aplicabilidad de los índices se fundamenta en las particularidades y conflictos sociales regionales que implican la desestimación o sobrestimación de la vulnerabilidad aparente, costos y capacidad de recuperación ante eventos los ENOS.

Medidas de acción de gestión del riesgo de desastres ante eventos ENOS

Actualmente las acciones de respuesta, mitigación y GRD inician con la ejecución “Plan Nacional de Contingencia para enfrentar el fenómeno El Niño” (Gobierno de Colombia, 2015a), enfocado en reconocer

las experiencias del pasado de los anteriores eventos similares, abordar el pronóstico establecido por las entidades técnico-científicas, los escenarios y análisis de los riesgos previstos a nivel territorial y sectorial, proponer las medidas generales que deben implementarse con inmediatez los territorios y sectores de protección financiera y proponer medidas organizativas, operativas y logísticas desde la UNGRD y los sectores, así como los recursos financieros inicialmente planteados desde el gobierno nacional para responder a nivel general (UNGRD, 2014).

El evento El Niño 2014-2016 tuvo repercusiones fuertes para el país. La inversión en acciones comprendidas desde la adquisición y ejecución de medidas de GRD (Tabla 3) se enfocaron en las problemáticas que enfrentaba el sector agua y subsector medio ambiente. Hasta noviembre de 2015 abarcaba más de 1 billón de pesos gestionado por las principales entidades nacionales que dirigen los sectores económicos (Gobierno de Colombia, 2015b).

Tabla 3. Medidas de acción de GRD durante el evento El Niño 2014-2016 en el sector agua y subsector medio ambiente (Gobierno de Colombia, 2015a; UNGRD, 2015).

Sector Agua		Subsector Medio ambiente (incendios forestales)	
Cantidad	Medida (adquisición)	Cantidad	Medida (adquisición)
85	Carrotaques	6	Helicópteros
142	Plantas potabilizadoras	26	Bambi buckets
6	Taladros	560	Cuñetes de líquido retardante
178	Motobombas	21990	Herramientas
2	Kit de calidad de agua	18	Piscinas
		864	Máquinas ‘amarillas’

Desarrollo de índices meteorológicos y socioeconómicos en Colombia

Debido a la experiencia obtenida de los efectos de diferentes eventos y con base en el conocimiento sobre la variabilidad climática, el sistema socioeconómico regional ha disminuido la vulnerabilidad ante las fases extremas del ciclo ENOS. No obstante, en 2014 la NOAA manifestó que sus indicadores meteorológicos reflejan información representativa de Estados Unidos, solicitando la validación de sus reportes con la verificación de las condiciones océano-atmosféricas de cada país (Becker, 2014), creando así

incertidumbre sobre la certeza y temporalidad de las alertas “El Niño” emitidas en Colombia. El CTN-ERFEN en coordinación con el Departamento Nacional de Planeación (DNP), convino desarrollar índices que describan las condiciones climáticas regionales y que simultáneamente puedan alimentar índices de riesgo socioeconómico directamente ligados al ENOS que puedan ser integrados a los planes de acción de los sectores económicos. Sin embargo, las variables socioeconómicas del país son mediciones poco dinámicas que toman referencia del censo de 2005 y debido a que los censos son menos frecuentes que el evento El Niño, esto implicaría que las mediciones

de impacto socioeconómico podrían desestimar la magnitud actual de estos eventos.

Respecto al monitoreo y predicción del evento y a su evolución, se tienen avances constantes a nivel nacional expresados a través de pronósticos más acertados y su aplicación en la gestión de los sectores económicos (Ideam, 2016a). Se dispone de sistemas de recepción de las imágenes de satélite y realización de cruceros oceanográficos que permiten observar la estructura del océano en épocas previas o durante ENOS y se tiene acceso directo a la información generada por los centros internacionales de seguimiento de las condiciones meteomarinas y modelos de las condiciones hidrológicas desarrolladas por el Ideam. Sin embargo, las redes climatológicas a lo largo del país carecen de continuidad y estandarización de datos haciendo actualmente inviable y exhaustivo el desarrollo indicadores que permitan el monitoreo constante y permanente de las afectaciones causadas por estos eventos en el país.

CONCLUSIONES

Si bien a nivel mundial aún no se ha logrado completamente la comprensión de los orígenes y dinámicas del evento *per se*, en Colombia se han realizado aportes al conocimiento sobre las particularidades climáticas de los eventos El Niño y La Niña en el territorio y sus efectos en los sectores socioeconómicos nacionales. Este vacío del conocimiento se constituye en vulnerabilidad ya que afecta la precisión de los esquemas de predicción sobre el advenimiento del ENOS, herramientas fundamentales en la prevención del riesgo de desastres.

La comunicación interinstitucional que se ha venido desarrollando desde la creación del SNGRD, entre entidades nacionales tomadoras de decisiones, ha permitido la transmisión de información técnica y administrativa oportuna, evidenciando las mejorías de los sistemas de gestión del riesgo de desastres ante los impactos que los eventos extremos generan en el país. Además, es necesario fortalecer el monitoreo de las condiciones océano-atmosféricas fomentando su continuidad y mejorando los modelos de predicción y desarrollar a futuro los índices socioeconómicos que permitan disminuir la sobrestimación o subestimación de los efectos del ENOS en Colombia para preparar a las instituciones tomadoras de decisiones y a

la comunidad en general sobre los impactos el evento en la economía y ambiente del país.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Colombiana del Océano la cual dentro de su convenio de prácticas profesionales permitió el desarrollo de este estudio funcionando como órgano asesor del Gobierno Nacional en los temas relacionados con la Política Nacional del Océano y Espacios Costeros y conexos al desarrollo marítimo del país. Al CTN-ERFEN, que permitió la articulación de los esfuerzos de las entidades miembros, con el fin de pronosticar y monitorear las fases del evento, así como atenuar los impactos ambientales y socioeconómicos que generan El Niño o La Niña en el territorio nacional.

REFERENCIAS

- Alonso-Másmela, G. (2014). El fenómeno de El Niño en Colombia: caracterización y posible impacto. *Reportes Del Emisor: Investigación e Información Económica*, 182, 1-8.
- Badii, M. H., Castillo, J., Cortez, K., Wong, A., & Villalpando, P. (2007). Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica. *Innovaciones De Negocios*, 4, 2, 405-422.
- Banco de la República de Colombia. (2015). Boletín de indicadores económicos, noviembre de 2015. Bogotá, Colombia.
- Barrero-P, A. (2005). Análisis de la sequía histórica de 1925-1926. *Meteorología Colombiana*, 9, 87-92.
- Becker, E. (2014). Details on the October ENSO Diagnostic Discussion: Trust, but verify. Disponible en: <http://goo.gl/ObzKzR7>
- BID & CEPAL. (2006). Información para la gestión del riesgo de desastres, Colombia. Washington, Estados Unidos.
- BID. (2010). Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos, Programa para América Latina y el Caribe. The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference (Vol. 1). Washington, Estados Unidos.

- BID. (2011). Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión de Riesgos Programa para América Latina y el Caribe, El Salvador. Washington, Estados Unidos.
- BID. (2015). Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión de Riesgos Programa para América Latina y el Caribe, Colombia. Washington, Estados Unidos.
- Bitrán-Bitrán, D. (1992). El impacto de los desastres naturales en el desarrollo económico. México, México: UNISDR.
- Bureau of Meteorology (BOM). (2016). The three phases of the El Niño–Southern Oscillation (ENSO). Disponible en: <http://goo.gl/mxg19L>
- CAF. (1998). *El fenómeno el niño 1997-1998*. México, México: CAF.
- Caicedo, E. (2007). El fenómeno de El Niño y su posible impacto en Colombia. *Reportes del Emisor: Investigación en Información Económica*, 92, 1-4.
- Cardona, O. D., Wilches-Chaux, G., García, X., Mansilla, E., Ramírez, F., & Marulanda, M. (2004). Estudio sobre desastres ocurridos en Colombia: Estimación de pérdidas y cuantificación de costos. Bogotá, Colombia: Banco Mundial, ACCI (APC) & DNP.
- CCCP. (2014). Condiciones oceanográficas en el Pacífico colombiano según el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur. Disponible en: <http://goo.gl/CNKrer>
- CCO. (2011). *El océano en las ciencias naturales y sociales, espacio vital en la evolución de la humanidad y de Colombia*. Bogotá, Colombia: Dígitos y Diseños Industria Gráfica Ltda.
- CCO. (2014). Objeto y funciones de la Comisión Colombiana del Océano. CCO. Recuperado de [goo](http://goo.gl/xkG5dw). Disponible en: <http://goo.gl/xkG5dw>
- CEPAL. (1999). *Efectos macroeconómicos del fenómeno El Niño de 1997-1998. Su impacto en las economías andinas*. México, México: CEPAL.
- CEPAL. (2012). *Valoración de daños y pérdidas ola invernal en Colombia 2010-2011*. Bogotá, Colombia: BID.
- Congreso de Colombia (2012). Ley 1523 de 2012. Bogotá, Colombia.
- CPPS. (2015). Boletín de Alerta Climático (BAC). Guayaquil, Ecuador.
- CTN-ERFEN. (2015). Comunicado Nacional seguimiento del fenómeno El Niño 2014-2015, N° 11. Bogotá, Colombia.
- Dahlman, L. A. (2016). Climate variability: Oceanic Niño Index. Disponible en: <http://goo.gl/aX9zxm>.
- Dean, J. M., & Kemp, A. E. S. (2004). A 2100 year BP record of the Pacific Decadal Oscillation, El Niño Southern Oscillation and Quasi-Biennial Oscillation in marine production and fluvial input from Saanich Inlet, British Columbia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 213, 3-4, 207-229. doi:10.1016/j.palaeo.2004.05.001
- Díaz, H. F., & Markgraf, V. (eds.). (2000). *El Niño and the southern oscillation, multiscale variability and global and regional impacts*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Euscátegui, C., & Hurtado, G. (2011). Análisis del impacto del fenómeno “La Niña” 2010-2011 en la hidroclimatología del país. Bogotá, Colombia.
- Gabis, I. P. (2015). The validity of long-term prediction of quasi-biennial oscillation (QBO) as a proof of the exact seasonal synchronization of the equatorial stratospheric QBO cycle. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 124, 44-58.
- Gobierno de Colombia. (2015a). Reporte de situación fenómeno El Niño, noviembre 10 de 2015. Bogotá, Colombia.
- Gobierno de Colombia. (2015b). Reporte de situación fenómeno El Niño, octubre 23 de 2015. Bogotá, Colombia.
- Hoyos, N., Escobar, J., Restrepo, J. C., Arango, A. M., & Ortiz, J. C. (2013). Impact of the 2010-2011 La Niña phenomenon in Colombia, South America: The human toll of an extreme weather event. *Applied Geography*, 39, 2013, 16-25.
- Hurtado, G., & González, O. (2010). Evaluación de la afectación territorial de los fenómenos El Niño/La Niña y análisis de la confiabilidad de la predicción climática basada en la presencia de un evento. Bogotá, Colombia.

- Ideam, PNUD, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, CorpoGuavio, DNP. (2014). *Evolución de precipitación y temperatura durante los fenómenos el Niño y la Niña en Bogotá-Cundinamarca (1951-2012)*. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Ideam. (1997). Bases para formulación del Plan Nacional de Prevención y Contingencia el fenómeno El Niño 1997-1998. Bogotá, Colombia.
- Ideam. (2002). Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en Colombia. Bogotá, Colombia.
- Ideam. (2003). Programa Integral Multidisciplinario para el estudio sobre el fenómeno El Niño. Bogotá, Colombia.
- Ideam. (2012). Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno "El Niño" en el período 2012-2013 en Colombia. Bogotá, Colombia.
- Ideam. (2015). Predicción climática y alertas para planear y decidir. Bogotá, Colombia.
- Ideam. (2016a). Boletín Agroclimático. Disponible en: <http://goo.gl/LKhd6U>
- Ideam. (2016b). Boletín informativo sobre el monitoreo de los fenómenos de "El Niño" y "La Niña". Disponible en: <http://goo.gl/vjN4RL>
- IRI. (2015). IRI ENSO Forecast. Disponible en: <http://goo.gl/HBqvT7>
- Jiménez, R. (2008). Aspectos biológicos de El Niño en el océano Pacífico ecuatorial. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil, Centro de Biodiversidad.
- Kovats, R. S., Bouma, M. J., Hajat, S., Worrall, E., & Haines, A. (2003). El Niño and health. *Lancet*, 362(9394), 1481-1489. doi:10.1016/S0140-6736(03)14695-8
- León-Aristizábal, G. (2011). Aspectos de la circulación atmosférica de gran escala sobre el noroccidente de Suramérica asociada al ciclo ENOS 2009-2010 y sus consecuencias en el régimen de precipitación en Colombia. Bogotá, Colombia.
- León-Aristizábal, G. (2016). Variabilidad climática. Disponible en: <http://goo.gl/MOTx8g>
- Marulanda, M. C., y Cardona, O. D. (2006). *Análisis del Impacto de Desastres Menores y Moderados a Nivel Local en Colombia*. Manizales, Colombia: Pro-Vention.
- Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (2004). History and description of "El Niño Southern Oscillation" phenomenon. En S. Avaria, J. Carrasco, J. Rutllant, & E. Yáñez eds., *El Niño-La Niña 1997-2000, sus efectos en Chile* (pp. 13-27). Valparaíso, Chile: CONA.
- Meza, L., Corso, S. & Soza, S. (2010). *Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile*. Santiago, Chile: FAO.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2002). Segundo informe nacional de implementación de la conveniencia de la Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía - UNCCD. Ministerio de Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.
- Montealegre, J. E. (2007). *Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia*. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Montealegre, J. E. (2012). *Análisis de la variabilidad climática inter-anual (El Niño y La Niña) en la Región Capital, Bogotá Cundinamarca*. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Montealegre, J. E. (2014). *Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico*. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Moreno, A. M., & Cardona, O. D. (2011). *Efectos de los desastres naturales sobre el crecimiento, el desempleo, la inflación y la distribución del ingreso, ERN-América Latina*. Bogotá, Colombia: ISDR, GAR.
- NOAA. (2015). El Niño. Recuperado de elnino.noaa.gov/.
- NOAA. (2016a). ONI (ERSST.v3b). Disponible en: <http://goo.gl/yGWABI>
- NOAA. (2016b). Southern Oscillation Index (SOI). Disponible en: <http://goo.gl/mA1P04>

- Ortega-Gaucin, D., y Velasco, I. (2013). Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México. *Aqua-LAC*, 5(2), 78-90.
- Pabón, J. D., & Montealegre, E. (1998). Probabilidad de Afectación de la Precipitación en Colombia por el fenómeno La Niña. *Nota Técnica IDEAM-METEO*, 008-98, 1-16.
- Pabón, J. D., & Montealegre, E. (2013). *Los fenómenos El Niño y La Niña sus anomalías climáticas e impactos*. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Pabón, J. D., & Torres, G. (2007). Impacto socioeconómico de los fenómenos El Niño y La Niña en la Sabana de Bogotá durante el siglo XX. *Cuadernos de Geografía*, 16, 81-94.
- Pinilla, M. C., & Pinzón, C. (2012). Influencia del ciclo ENOS sobre la precipitación en los municipios de Betulia, San Vicente de Chucurí, Zapatoca y Girón, departamento de Santander, Colombia. En 8o Congreso Internacional: "Cambio climático: extremos e impactos" (pp. 581-592). Salamanca, España.
- Poveda, G., Velez, J. I., Mesa, O., Hoyos, C. D., Mejía, J. F., Barco, O., & Correa, P. (2002). Influencia de fenómenos macroclimáticos sobre el ciclo anual de la hidrología colombiana: cuantificación lineal, no lineal y percentiles probabilísticos. *Meteorología Colombiana*, 6, 121-130.
- Rodríguez-Rubio, E. (2013). A multivariate climate index for the western coast of Colombia. *Advances in Geosciences*, 33, 21-26. doi:10.5194/ad-geo-33-21-2013
- Rojas-Ruíz, A. (2012). Actividades operativas y de investigación para generar predicciones climáticas mensuales mediante los sistemas de modelamiento numérico CWRF, CMM5 y CAM. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Ruiz, A., & Pabón, J. (2013). Efecto de los fenómenos de El Niño y La Niña en la precipitación y su impacto en la producción agrícola del departamento del Atlántico (Colombia). *Cuadernos de Geografía Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 35-54.
- Súarez-Olave, D. C. (2003). Sumario de indicadores e índices relacionados con la evaluación de la vulnerabilidad, la amenaza y el riesgo por eventos naturales. Manizales, Colombia: BID, CEPAL, IDEA, UNAL.
- UNGRD. (2014). *Plan Nacional de Contingencia ante el fenómeno del Niño 2014-2015*. Bogotá, Colombia.
- UNGRD. (2015). Informe técnico de avance y ejecución de Plan Nacional de Contingencia y Posible fenómeno de "El Niño" 2014-2015. Bogotá, Colombia.
- Yamin, L. E., Ghesquiere, F., Cardona, O. D., & Ordaz, M. G. (2013). *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre, el caso de Bogotá, Colombia*. Bogotá, Colombia.