

Artículo de Divulgación Científica

El Niño, vientos de bajo nivel y predicción de rayos en el norte de Sudamérica

¿Qué son los Relámpagos del Catatumbo?

Los Relámpagos del Catatumbo son un conjunto de tormentas eléctricas que ocurren en promedio unas 260 noches al año en toda la Cuenca del Lago de Maracaibo (Figura 1), pero especialmente al suroeste del Lago (Muñoz y Díaz-Lobatón, 2011; Muñoz et al., 2016). Se forman por una interacción entre agentes locales, regionales y globales, que se ponen de acuerdo para hacer que este fenómeno suceda en el sitio y en los tiempos en que ocurre.

Varios estudios (Albrecht et al., 2009; Muñoz y Díaz-Lobatón, 2011; Bürgesser et al., 2012) indican que el “epicentro” más importante en términos de descargas está cerca de la desembocadura del río Catatumbo en el Lago de Maracaibo (Figura 1). Un segundo epicentro, con menor actividad que el primero, se ubica cerca de la frontera colombo-venezolana (aproximadamente en coordenadas 9° Norte y 73° Oeste, ver Figura 1).

La mayoría de las descargas tienden a ocurrir dentro de las nubes, pero también hay rayos que caen a tierra (o que suben de la tierra a las nubes). El máximo diario de actividad de los Relámpagos tiende a ocurrir entre las 6:00 pm y 4:00 am (Tiempo Local Solar) de cada día (Albrecht et al., 2009; Bürgesser et al., 2012). El epicentro de mayor actividad (cerca de la boca del Río Catatumbo, Figura 1) es más activo entre las 00:00 y las 4:00, mientras que el segundo tiende a iniciar y terminar un poco antes, entre las 20:00 y las 2:00 del día siguiente.

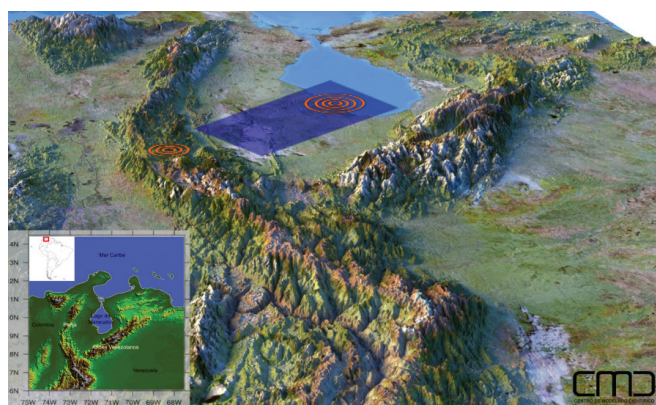


Figura 1. Cuenca del Lago de Maracaibo. La región del Catatumbo se ha resaltado en color púrpura, y los epicentros en naranja. Las alturas medias de las cordilleras oscilan entre 1.500 y 3.700 metros sobre el nivel del mar. Créditos: Centro de Modelado Científico (CMC) de Universidad del Zulia



Lic. Marling Juárez
Coordinadora del Eje de Geociencia en CMC

Licenciada en Ciencias Físicas en Universidad del Zulia, Venezuela. Actualmente cursa una maestría en Física en temas relacionados con cambio y variabilidad climáticos. Se desempeña en el Centro de Modelado Científico de la mencionada universidad como coordinadora del Eje de Geociencias, y es investigadora líder del Sistema Integrado de Vigilancia y Pronóstico de la Cuenca del Lago de Maracaibo.

Xandre Chourio
Centro de Modelado Científico CMC.
Universidad del Zulia. Maracaibo,
Venezuela.

David Sierra-Porta
Centro de Modelado Científico CMC.
Universidad del Zulia. Maracaibo,
Venezuela.

Joaquín Díaz-Lobatón
Centro de Modelado Científico CMC.
Universidad del Zulia. Maracaibo,
Venezuela.

Universidad industrial de Santander.
Grupo de investigación en relatividad y
gravitación. Bucaramanga, Colombia

Ángel G. Muñoz
Atmospheric and Oceanic Sciences
(AOS) Program. Princeton University.
Princeton, New Jersey. USA.

Gabriel A. Vecchi
Geosciences Department. Princeton
University. Princeton, New Jersey.
USA.

International Research Institute for
Climate and Society (IRI), The Earth
Institute, Columbia University, NY, USA.

Atmospheric and Oceanic Sciences
(AOS) Program. Princeton University.
Princeton, New Jersey. USA.

Los Relámpagos del Catatumbo tienden a verse muy poco o incluso a desaparecer en enero, y se aprecian más durante los máximos de lluvia. Este comportamiento responde a la variabilidad característica de la actividad tormentosa en el noroeste de Sudamérica, y no es algo aislado de la Cuenca del Lago de Maracaibo. Enero y febrero son de hecho los meses con la mínima densidad de descargas en el norte de Sudamérica. Cierta actividad por encima de la normal empieza a aparecer en abril-mayo en Colombia en un corredor entre los 5° y 9° Norte, alrededor de los 75° Oeste. Esta anomalía se va fortaleciendo paulatinamente en los meses siguientes, y comienza a migrar hacia el este a latitudes entre los 7° y 10° Norte, alcanzando el máximo de actividad en la Cuenca del Lago de Maracaibo entre julio y octubre. En los meses siguientes la densidad de descargas disminuye rápidamente en la Cuenca y el noroeste de Sudamérica, para alcanzar de nuevo valores mínimos a principios del año siguiente. Una animación de la evolución temporal recién descrita se encuentra disponible para todo el público en el portal <http://cmc.org.ve/Catatumbo>.

El Niño, vientos de bajo nivel y predicción de Rayos en el Norte de Sudamérica

Juárez, M.

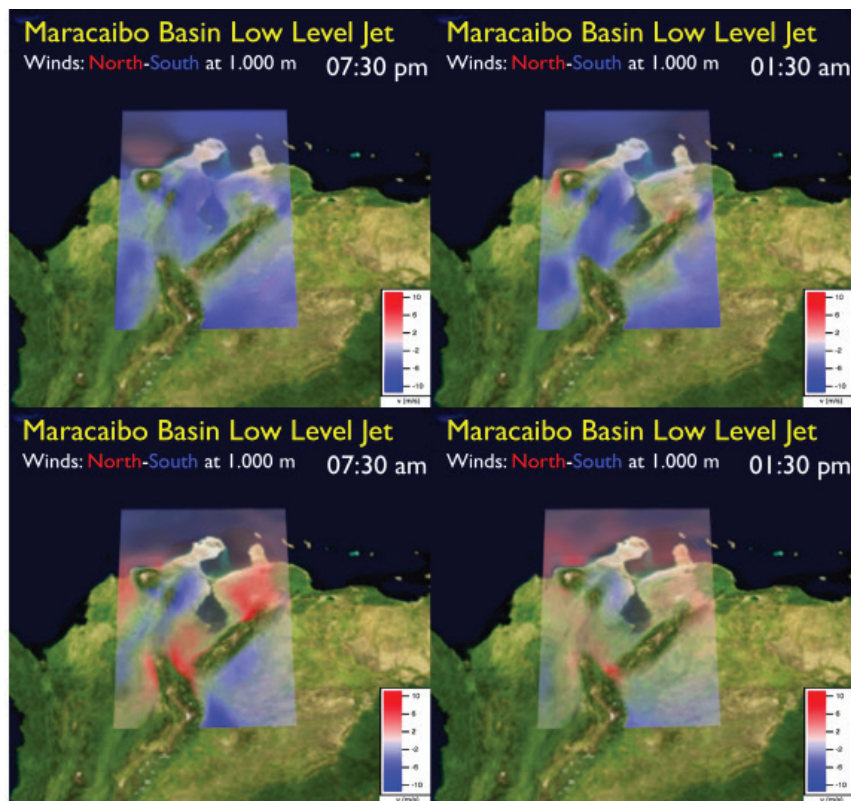


Figura 2: Simulación computacional del Jet Nocturno de Bajo Nivel de la Cuenca del Lago de Maracaibo, usando un modelo de 4 km de resolución, mostrando la componente meridional (norte-sur) de los vientos a aproximadamente 1 km de altura sobre el nivel del suelo. Cada panel muestra la configuración del jet de vientos a una hora distinta del día. Colores rojizos indican vientos hacia el norte, mientras que azules indican vientos soplando al sur. Créditos: Centro de Modelado Científico (CMC) de Universidad del Zulia

El Niño-Oscilación del Sur, vientos de bajo nivel y otros agentes climáticos

La densidad de descargas eléctricas varía también de un año a otro, dependiendo de distintos factores, uno de ellos es El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), que modula la actividad tormentosa en los trópicos del planeta –y por ende en la Cuenca del Lago de Maracaibo también– a escalas de tiempo típicas de entre 2 y 7 años. Por ejemplo, ENOS fue muy probablemente el causante principal de que los Relámpagos del Catatumbo desaparecieran entre finales de 2009 y principios de 2010.

Por su ubicación geográfica, la disponibilidad de humedad en la Cuenca del Lago de Maracaibo no depende únicamente del lago mismo, sino también del Mar Caribe, y éste a su vez de la interacción entre las cuencas oceánicas del Atlántico y el Pacífico. ENOS tiene un rol importante en el estímulo o inhibición de la actividad convectiva (lluvias y descargas eléctricas) sobre todo el Noroeste de Sudamérica: años El Niño tienden a tener mayor estabilidad atmosférica en el Trópico, y los patrones de circulación de vientos, que transportan humedad de un sitio a otro del planeta, son tales que hay menor disponibilidad de vapor de agua para convección en la Cuenca (precipitaciones bajo la normal) ; lo contrario tiende a ocurrir en años La Niña. Este escenario se ve exacerbado cuando las

anomalías de temperaturas tienen signos distintos entre el Atlántico y el Pacífico: por ejemplo, años en los que se presenta un evento El Niño (anomalías cálidas en el Océano Pacífico Tropical) con anomalías frías en el Atlántico Tropical tienden a mostrar actividad convectiva extrema (por ejemplo, precipitaciones mucho menores a la normal).

Distintas regiones del Pacífico, Atlántico y del Mar Caribe tienen un peso específico importante en la variabilidad de rayos en el norte de Sudamérica, y estas señales cambian a lo largo del año. La escala global modula entonces no sólo la variabilidad de descargas eléctricas a lo largo de los años (por ejemplo, con la ocurrencia de eventos ENOS), sino también a lo largo de los meses en un año típico.

Un aspecto importante es que los agentes climáticos de gran escala se traducen regionalmente en cambios en patrones de circulación atmosférica que controlan la ocurrencia de rayos en la zona de interés. Es posible usar entonces directamente variables físicas más regionales para describir (y pronosticar) la ocurrencia de rayos. En particular, se ha mostrado (Muñoz et al., 2016) que el “transporte meridional de energía potencial disponible para convección”, que no es más que una representación de qué tanto los vientos norte-sur contribuyen a generar condiciones idóneas para generar rayos y lluvias, es muy bueno

para esta tarea. Al analizar esta variable a escala regional encontramos patrones dominantes (grupos de agentes climáticos que rigen el comportamiento de la densidad de rayos) como el Jet de Bajo Nivel del Caribe, una corriente de vientos de baja altura que modula la actividad convectiva en la Cuenca del Lago de Maracaibo y que está enlazada a su vez con agentes climáticos de escala global. En última instancia, los efectos conjuntos de los distintos agentes pueden apreciarse en términos del control de humedad, intensidad de vientos y condiciones idóneas para la generación de tormentas, que explican por qué la densidad de descargas electro-atmosféricas varía a lo largo del año de la manera observada.

Los agentes climáticos globales y regionales pueden ofrecer condiciones de fondo adecuadas o no para la generación de tormentas eléctricas, pero esto aún no explica el ciclo diurno mencionado anteriormente. Éste está relacionado con el Jet Nocturno de Bajo Nivel del Lago de Maracaibo (Figura 2). Se trata de una corriente en chorro parecida al Jet de Bajo Nivel del Caribe, pero que controla a escala diaria la dinámica atmosférica de la Cuenca del Lago de Maracaibo. Como en el caso global y regional, este agente de meso-escala interactúa también con los demás: durante los meses secos, cuando el Jet de Bajo Nivel del Caribe está intensificado y ubicado más cerca de las costas de Panamá, ambas corrientes en chorro se encuentran desacopladas; sin embargo, en los meses de junio a agosto (y especialmente julio, en el que el Jet del Caribe se vuelve a intensificar), hay una interacción importante entre ambas corrientes de viento.

El Jet Nocturno de Bajo Nivel de la Cuenca del Lago de Maracaibo, a pesar de su nombre, posee un ciclo de vida que está presente durante todo el día (Figura 2). Sus orígenes tienen que ver con varios factores, siendo uno de los principales las diferencias de temperatura a lo largo del día entre el Mar Caribe, la Cuenca y las montañas circundantes. Los vientos dirigidos hacia el Suroeste, provenientes del Golfo de Venezuela y el Mar Caribe, comienzan a incrementar su velocidad alrededor del mediodía, haciéndose máximos entre las 5:00 pm y 6:00 pm. Luego de la puesta del sol, la corriente en chorro dirigida al sur disminuye su velocidad media, desapareciendo alrededor de las 4:00 am, cuando los vientos fríos que bajan de las montañas hacia el lago tienden a ser máximos. La corriente en chorro comienza a fortalecerse de nuevo luego del mediodía, y el ciclo comienza de nuevo (Figura 2).

Sistema de Vigilancia y Pronóstico de Rayos

Desde 1998 el Centro de Modelado Científico (CMC) ha venido realizando estudios sobre descargas eléctricas en la Cuenca del Lago de Maracaibo y el norte de Sudamérica. La comprensión de los mecanismos físicos que controlan la variabilidad de rayos se logró gracias a múltiples expediciones a la zona para el lanzamiento de globos cautivos (globos anclados al suelo; Figura 3) hasta el interior de las nubes, portando sensores meteorológicos atados a la línea para poder medir simultáneamente a distintas alturas (Muñoz et al., 2015); análisis de datos climáticos usando distintas fuentes; manejo de



Figura 3. Lanzamiento en Catatumbo de globos cautivos de neopreno con sensores meteorológicos iCaro, diseñados y manufacturados por el Centro de Modelado Científico de Universidad del Zulia. Crédito: Hernán Parra – CMC

El Niño, vientos de bajo nivel y predicción de Rayos en el Norte de Sudamérica

Juárez, M.

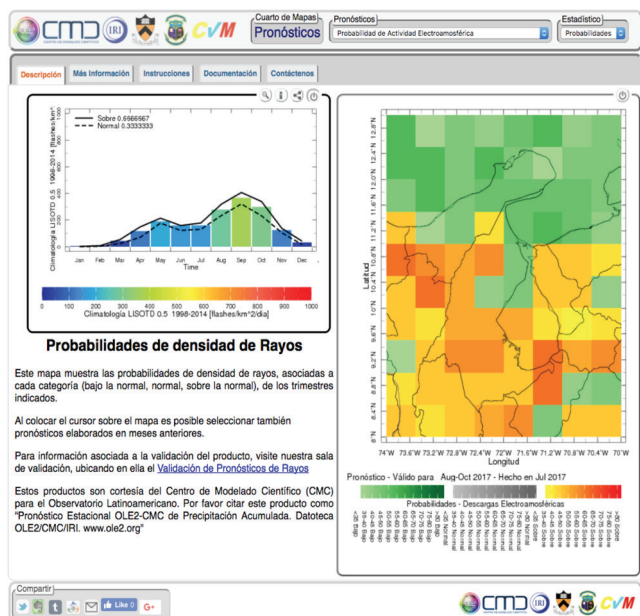


Figura 4: Un ejemplo del producto de pronóstico probabilístico de rayos en la Cuenca del Lago de Maracaibo. La gráfica de barras a la izquierda muestra cuál es la normal de actividad de rayos cada mes del año (1998-2014), la línea sólida indica el valor mensual que define "sobre la normal", y la punteada define "bajo la normal". Esto provee el contexto necesario para poder usar el mapa de la derecha; colores rojizos indican probabilidades de menos rayos de lo normal, mientras que los tonos verdes indican probabilidades de más rayos sobre la normal.

observaciones de rayos tanto satelitales y como de detectores en superficie en Maracaibo; y el uso de modelos teóricos y simulaciones computacionales de muy alta resolución (Muñoz et al., 2016).

Estos estudios, llamados en conjunto *Catatumbo Experiments* (CatEx), y el trabajo conjunto de múltiples instituciones dentro y fuera de Venezuela, como el Centro Virtual de Meteorología, el Servicio Meteorológico de la Aviación Bolivariana de Venezuela, y las universidades de Princeton y Columbia, han permitido la constitución del Sistema Integrado de Vigilancia y Pronóstico para la Cuenca del Lago de Maracaibo (SIVIGILA), cuyos productos han estado ayudando a tomadores de decisión locales y regionales desde el 1 de junio del 2015.

SIVIGILA ofrece una variedad de servicios climáticos asociados con rayos y precipitaciones en la Cuenca, disponibles para el usuario por medio de Salas de Mapas en la *Datoteca* (Chourio, 2016) (http://datoteca.ole2.org/maproom/Sala_de_Sivigila/) la cual es una versión local de la Data Library del International Research Institute for Climate and Society (IRI) de Columbia University. En la sección "Contexto Histórico" se provee al tomador de decisiones mapas que indican el comportamiento típico de variables de interés, así como información sobre la densidad de población que puede ser afectada por eventos adversos. En

la sección "Vigilancia" se presentan productos en tiempo cuasi-real sobre el comportamiento reciente de precipitaciones, reflectividad proveniente de un radar Döppler del servicio meteorológico nacional venezolano, y de detectores de rayos ubicados en las instalaciones del CMC en Universidad del Zulia. En la sección "Pronósticos" se encuentran las predicciones probabilísticas de rayos y precipitaciones para los próximos tres meses, así como un enlace a una página con la validación de los mismos (Figura 4).

La experiencia con *CatEx* y SIVIGILA ha permitido no sólo proveer de herramientas útiles de fundamento científico-técnico para la región, sino adicionalmente la interacción social con los habitantes de la zona, llevando a cabo otras actividades como el censo y capacitación de los habitantes en torno a la presencia del fenómeno, además de una actividad continuada con la capacitación en torno a la diseminación de una cultura de riesgo, preservación y conservación que permite una mejor y más eficiente toma de decisiones locales.

Referencias

- Albrecht, R., S. Goodman, D. Buechler, and T. Chronis, 2009: Tropical frequency and distribution of lightning based on 10 years of observations from space by the Lightning Imaging Sensor (LIS). Preprints of Fourth Conf. on Meteorological Applications of Lightning Data, Phoenix, AZ, Amer. Meteor. Soc., P2.12.
- Bürgesser, R. E., M. G. Nicora, and E. E. Ávila, 2012: Characterization of the lightning activity of "Relámpago del Catatumbo." *J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys.*, 77, 241–247.
- Chourio X. 2016. The Latin American observatory's datoteca. *Climate Service Partnership Newsletter*, 6 April. p. 6. <http://www.climateservices.org/wp-content/uploads/2015/05/CSP-newsletter-April-2016-2.pdf>
- Díaz-Lobato, J., 2012: *Energética del Relámpago del Catatumbo*. Trabajo Especial de Grado. Dpto. de Física, Facultad de Ciencias de Universidad del Zulia. Maracaibo. 102 pp (Tutor: Á.G. Muñoz).
- Muñoz, Á.G. y Díaz-Lobato, J. E., 2011: The Catatumbo Lightnings: A Review. *Mem. XIV Int. Conf. Atmos. Electr.*, 1–4.
- Muñoz, Á. G., Díaz-Lobato, J., Chourio, X., Stock, M.J., 2016: Seasonal prediction of lightning activity in North Western Venezuela: Large-scale versus local drivers. *Atmos. Res.*, 172–173, 147–162, doi:10.1016/j.atmosres.2015.12.018.
- Muñoz, Á.G., Núñez, A., Chourio, X., Díaz-Lobato, J., Márquez, R., Moretto, P., Juárez, M., Casanova, V., Quintero, A., Zurita, D., Colmenares, V., Vargas, L., Salcedo, M.L., Padrón, R., Contreras, L., Parra, H., Vaughan, C., Smith, D., 2015: Reporte Final de la Expedición Catatumbo: Abril 2015. Reporte Público CMC-01-2015. Centro de Modelado Científico (CMC). Universidad del Zulia. doi: 10.13140/RG.2.1.1351.0566