

SOBRE EL ORIGEN Y RECURRENCIA DEL RELAMPAGO DEL RIO CATATUMBO

NELSON FALCON

Departamento de Física Facultad Experimental
de Ciencias y Tecnología Universidad de
Carabobo, Valencia, Edo. Carabobo.

e-mail: nfalcon@uc.edu.ve

Resumen

Al sur del lago de Maracaibo ocurre desde tiempos remotos un relámpago recurrente, incluso en épocas de sequía, denominado “Faro de Maracaibo” o “Relámpago del Catatumbo”. Diversas hipótesis se han conjeturado para explicar el carácter localizado, recurrente y antiguo del fenómeno, siendo motivo de controversia su completa comprensión. Se presentan los resultados de las expediciones realizadas para ubicar los epicentros y caracterizar el fenómeno. Adicionalmente se discute un modelo microfísico fundamentado en la presencia del gas metano como agente causal de la actividad eléctrica atmosférica.

Palabras Clave: Relámpago del Catatumbo, Electricidad Atmosférica.

Abstract

To the south of the Maracaibo Lake (Venezuela) it happens from remote times a recurrent lightning, even in dry seasons, denominated Maracaibo Lighthouse or Catatumbo Lightning. Diverse hypothesis has been surmised to explain the located character, recurrent and old of the phenomenon, being reason of controversy its complete understanding. The results of the expeditions are presented carried out with the purpose of to locate the epicenters and to characterize the phenomenon physically. Additionally a microphysics model is discussed; this model is based in the methane gas like causal agent of the atmospheric electric activity. Keywords Lightning of the Catatumbo, Atmospheric Electricity.

1 Introducción

Las manifestaciones de la actividad eléctrica atmosférica tales como los relámpagos y los rayos son comunes en toda la región del sudoeste venezolano, mas concretamente en la región de los deltas de los ríos Catatumbo y Bravo, al sur del lago de Maracaibo. Destacándose entre tales meteoros la ocurrencia persistente de un relámpago sordo, conocido como el “Relámpago del Catatumbo” o “Faro de Maracaibo”. El fulgor y luminosidad de éste fenómeno es tal que puede ser apreciado desde la ciudad de Maracaibo e incluso a centenares de kilómetros de distancia, en los Andes venezolanos, el río Magdalena en Colombia y el Mar Caribe, durante casi todo el año [1].

La zona de ocurrencia del “Relámpago del Catatumbo” no varía desde su primera mención escrita en 1597 cuando Lope de Vega le menciona en el poema épico “La Drangontea” [2]. Diversos autores han reportado la ocurrencia del “Relámpago del Catatumbo” desde el siglo pasado hasta ahora: el naturalista Alexander von Humboldt describe el fenómeno como “...explosiones eléctricas que son como fulgores fosforescentes...” [3] y el geógrafo Agustín Codazzi lo reseña “como un relámpago continuado” que parece surgir en la región pantanosa del río Zulia y sus alrededores, al sur del Lago de Maracaibo. Destacándose por su persistencia continua en posición y tiempo, para casi todas las noches del año, incluso en el período de sequía, derivando de allí el nombre de “Faro de Maracaibo” [4], a finales del siglo pasado Hann lo reseña en el Catalogo Climatológico Mundial. Más recientemente

Zavrostky [5] ha reportado su ocurrencia y fenomenología; sin intentar un modelo físico que explique la naturaleza de la actividad eléctrica permanente y localizada que constituye la esencia del fenómeno atmosférico considerado.

No existe consenso en torno al mecanismo causal ni sobre la ubicación del o de los epicentros, sobre todo porque la región de ocurrencia es una zona inhóspita de 226.000 hectáreas de pantanos, casi permanentemente inundados con abundante nubosidad y pluviosidad durante todo el año, que conforman el “Parque Nacional Ciénagas de Juan Manuel”.

El primer intento moderno de caracterizar la fenomenología del “Relámpago del Catatumbo” lo realizó Melchor Centeno [1] quién realiza un enfoque geográfico y climático del mismo y delimita la región de ocurrencia al área comprendida entre las coordenadas 8° 15' y 10° latitud norte, y entre los 4° 45' y los 6° longitud Oeste. Centeno atribuye así el origen a las tormentas eléctricas permanentes ocasionadas por la circulación cerrada de vientos en la región, sin descartar la posibilidad de la existencia de algún agente causal en el subsuelo, tales como fuentes geotermales, geomagnéticas o radiactivas.

El segundo estudio sistemático del “Relámpago del Catatumbo”, fue realizado en 1966 por Andrés Zavrostky y colaboradores de la Universidad de Los Andes [7]. Consistió en tres expediciones, sin penetrar en las ciénagas, y se limitó a la observación desde los centros urbanos de Los Encontrados y Santa Bárbara, y/o puntos adyacentes de la carretera que unen ambas poblaciones, concluyendo que la causa del fenómeno “presumiblemente sea una especie de tormenta permanente en cierta región de Venezuela de índole esencialmente eléctrica entre las nubes cargadas de electricidad y cierta carga permanente en el suelo...en la Gran Ciénaga al oeste del Lago de Maracaibo”.

La actividad tormentosa y la existencia de cierta carga eléctrica superficial no explican el

carácter antiguo y localizado del fenómeno ni el mecanismo físico responsable de la fosforescencia (relámpago) que acompaña la ocurrencia de los rayos, como tampoco da cuenta de la intermitencia permanente que le caracteriza incluso en épocas de sequía.

Por otro lado, postular la existencia de tormentas eléctricas permanentes como causa del fenómeno requiere de un estudio microfísico de los procesos atmosféricos que den cuenta de los mecanismos de separación de cargas en nubes de tormentas, y además, la subsiguiente descarga de rayos supone especificar las condiciones para la existencia de un intenso campo eléctrico superficial y local como agente causal de las descargas nube-tierra durante las tormentas eléctricas. Desde una perspectiva teórica, la elaboración de modelos para el estudio de la electricidad atmosférica y la estabilidad en gases ionizados es todavía un problema abierto en meteorología física [8].

El estudio del “Relámpago del Catatumbo” podría contribuir a la comprensión del microclima en la región y tener además, aplicaciones prácticas para la agroindustria. El propósito de este trabajo es presentar un posible mecanismo que explique las características del “Relámpago del Catatumbo”, así como la identificación de los agentes causales y co-causales del fenómeno, con un enfoque micro y macro físico.

El modelo presentado pudiera emplearse para la comprensión de otras regiones geográficas de actividad eléctrica prominente en regiones tropicales y subtropicales, como es el caso del Sur de Florida en EEUU. Para ello se destacan las condiciones de su ocurrencia y la fenomenología (sección 2) observada durante las expediciones llevadas a cabo al interior de las ciénagas durante el bienio 1998-1999 por Falcón y colaboradores [9], luego se presenta un modelo basado en la microfísica atmosférica (sección 3) y, finalmente, se discuten sus consecuencias explicativas y el rol del Metano como agente causal de la inusitada actividad eléctrica atmosférica observada [10-12].

2. Generalidades.

La extensa región de cerca de 226.000 hectáreas al sur-oeste del lago de Maracaibo, está delimitada al norte por la cuenca del río Santa Ana y al sur por el río Catatumbo, por el oeste la carretera regional #6 que une las poblaciones de Machiques con Casígua El Cubo y por el este los deltas de los ríos citados que vierten sus aguas en el Lago de Maracaibo. Comprendiendo en su interior al río Bravo, desde su nacimiento hasta su desembocadura, el río la Concepción, las Ciénagas de Juan Manuel de Aguas Claras y Juan Manuel de Aguas Negras, las lagunas La Belleza, la Negra, Juan Manuel, La Estrella y otras menores como se muestra en el Mapa de la Figura 1.

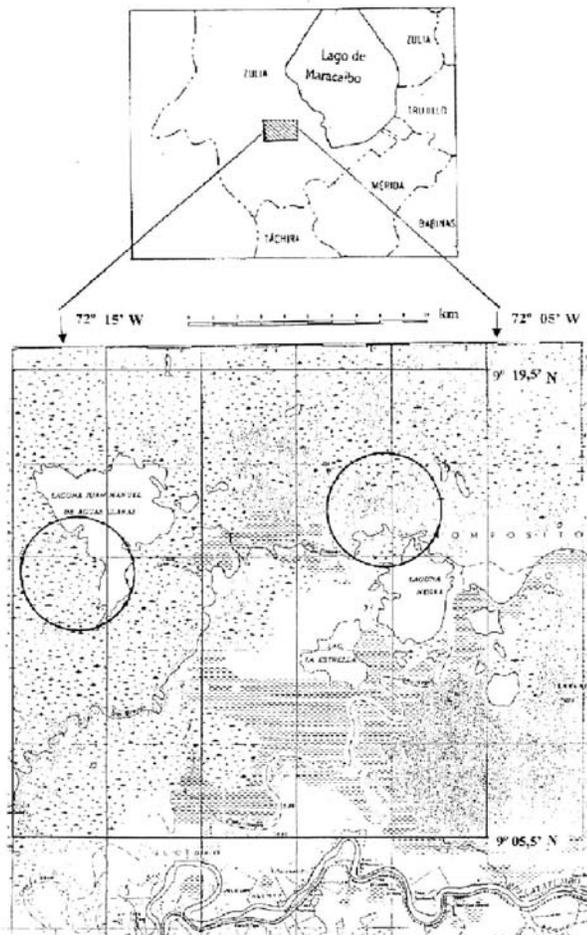


Figura 1. Ubicación de los Epicentros

Substancialmente corresponde a un ecosistema cenagoso, de bosques de pantano y manglares

además de un sistema delta lacustrino estuario en la zona de la desembocadura de los ríos en el Lago de Maracaibo. Esta gran explanada comparte la misma historia geológica que caracteriza al sur del Lago de Maracaibo, formando una depresión entre las cordilleras del Perijá y Los Andes venezolanos. Las lagunas y pantanos inundados exhalan continuamente metano por descomposición del detritus y humus, siendo la profundidad de las aguas variable entre los 2 y 4 metros, con temperaturas cálidas entre los 29 y 30° medidas luego del ocaso en los puntos de observación cercano a los epicentros.



Figura 2. Aspecto característico de las Ciénagas.

2.1 Condiciones Meteorológicas.

La temperatura media anual es de 28° C , siendo la máxima de 30° -36° C en la población de Los Encontrados a las 15 HLV, y la mínima entre los 23° y 25 °C en el mismo lugar hacía las 5 HLV. Los vientos de la Región presentan dos circulaciones cualitativamente diferentes. Por debajo de la cota de 1500 m s.n.m. presenta un proceso de deslizamiento forzoso debido a las montañas de las cordilleras del Perijá y de Los Andes y conlleva a la formación de nubes convectivas y de gran desarrollo vertical entre los 500 y 1500 m de altura, durante todo el año, principalmente al pie de monte. A mayor altura, sobre los 3000 m s.n.m. la dirección de los vientos y su velocidad media es la característica para el resto de Venezuela [11].



Figura 3. Aspecto general del Rio Catatumbo, cercano a los epicentros, adviértase la nubosidad permanente y el ecosistema cenagoso.

Debe observarse que la zona de convergencia local de vientos, atribuida por algunos autores [5] como agente causal del fenómeno en estudio, se presenta en realidad muy al sur del río Catatumbo y de la zona que estamos considerando; tal convergencia se encuentra muy cercano al eje geográfico de las localidades de La Fría-El Vigía.

Los mapas isoyéticos no evidencian máximos locales de pluviosidad en la región delimitada en la figura 1 y más bien evidencian que las características climáticas globales de las ciénagas son comunes a todo el Lago de Maracaibo. La precipitación media en verano está entre 200 mm y 400 mm para la región en consideración y de 800mm o más para las zonas de convergencia de vientos en los pie de monte de las cordilleras de Los Andes y del Perijá; análogamente durante el invierno la precipitación media está entre 1000-1200 mm en la región considerada, frente a valores 1600-2000 mm para las zonas circunvecinas [9].

2.2 Epicentros .

Se efectuaron tres expediciones al interior del Parque “Ciénagas de Juan Manuel” con la finalidad de caracterizar el “Relámpago del Catatumbo”, comenzando con la ubicación geográfica del epicentro o de los epicentros. Estas expediciones se realizaron con la colaboración del Instituto Nacional de Parques (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, Venezuela) y la Universidad del Zulia (Venezuela), y fueron reportadas primeramente en el año 2000 por Falcón y colaboradores [9] [11].

Durante la primera expedición (10 al 13-12-1998) se instalaron puntos de observación en la localidad de “Los Encontrados” , a orillas del río Catatumbo ($09^{\circ} 03,89' N 72^{\circ} 14,14' W$ 440 m snm) y en el delta de dicho río al sur del Lago de Maracaibo, en el palafito de “Punta Chamita” ($09^{\circ} 05,77' N 71^{\circ} 42,88' W$ 196 m snm) también se exploró la zona comprendida entre ambos puntos a lo largo del curso del río. Los resultados [9] evidenciaron que el fenómeno se presenta en dos regiones bien localizadas al oeste del Catatumbo, al interior de las ciénagas, mas particularmente entre las Lagunas la Estrella y la Belleza, colindantes con el río Bravo. Desde los puntos de observación se visualizó el “Relámpago del Catatumbo” como destellos nube-nube y el resplandor fosforescente (relámpago) en regiones del cielo bien localizadas y persistentemente durante toda la noche, si bien, por momentos de hasta una hora se dejaba de observar debido a nubes interpuestas entre el sitio de observación y los epicentros distantes varias decenas de kilómetros al interior de las ciénagas. Debe destacarse que también se observaron otras descargas esporádicas con rayos nube-tierra en otras direcciones del cielo pero que no presentaban la magnitud lumínica, persistencia y cuasiperiodicidad de las descargas cuyos epicentros parecen estar hacia la región de las lagunas internas de los pantanos del parque nacional “Ciénagas de Juan Manuel”.

La segunda expedición que permitió ubicar la región de ocurrencia del fenómeno, se efectuó entre los días 20 al 23 de Julio de 1999 en el interior mismo de los pantanos [10]. Se instalaron sitios de observación en: la localidad de “Los Encontrados” ($09^{\circ} 3' 51'' N 72^{\circ} 14' 09'' W$ 14 m snm), la laguna La Negra ($09^{\circ} 14' 13'' N 72^{\circ} 06' 33'' W$ 36 m snm) y las orillas del río Bravo ($09^{\circ} 14' 15'' N 72^{\circ} 06' 31'' W$ 41 m snm). En la tercera expedición realizada en el verano del 2000 se exploraron los recorridos ribereños y lacustres intermedios de las estaciones bases referidas y la cabecera del río Catatumbo. Los resultados [10] corroboraron las observaciones de las expediciones anteriores, en el sentido de la existencia de zonas de epicentros en las

cercanías de las lagunas, al interior de las ciénagas del citado Parque Nacional colindantes con el río Bravo, en lugar de puntos localizados de ocurrencia del fenómeno. Así como también la persistencia de al menos dos regiones del cielo, bien diferenciadas por su separación angular de hasta 66° de azimut, donde se producen las descargas. El mapa de la figura # 1 muestra los posibles epicentros y su extensión en base a las observaciones realizadas en las expediciones.

2.3 Características de las descargas eléctricas.

Las imágenes fotográficas (véase figuras 4 y 5) evidencian la característica descarga nube-nube del fenómeno, y su relativo confinamiento en una cierta región del cielo. Particularmente sin la presencia de extensas formaciones nubosas para la totalidad del horizonte visible, como cabría de esperar en una típica tormenta. Nótese que los rayos del fenómeno atmosférico no son nube-tierra ni tierra-nube, evidencia que parece descartar la presencia de fuentes geotermales, geomagnéticas o radiactivas en el sustrato superficial de la región. Las descargas eléctricas de la formación nubosa parecen provenir solamente del interior profundo de la nube y no sobre su periferia o zonas límite de la nube.



Figura 4. Aspecto general del relámpago. Debe notarse el aspecto de “cabellera de la formación nubosa hacia la derecha de la fotografía. Los colores originales son de un naranja-rojizo en la parte brillante de la imagen.



Figura 5 Descargas nube-nube observadas con telescopio al interior de la nube.

La fotografía #5 muestra los rayos descendentes entre las dos capas nubosas. Los valores de presión y temperatura al interior de dichas nubes, se pueden estimar a partir de un modelo lineal para la troposfera [9] [10]. A 2,5 km de altura, parte baja de la nube, la presión alcanza 0,75 atmósferas y la temperatura es del orden de los 6°C . En el techo de la nube la presión disminuye hasta 0,48 atmósferas y la temperatura desciende a -33°C .

Por otro lado la característica actividad eléctrica entre nube-nube conlleva a pensar que los epicentros se desplazan ligeramente, conforme las nubes sean empujadas por los vientos locales. El gran desarrollo vertical de estas agrupaciones nubosas, no permiten rápidos o grandes desplazamientos respecto a los epicentros.

Medidas con el electrómetro, a nivel superficial en el punto de observación a las orillas del río Bravo, dan cuenta de la existencia de cargas eléctricas atmosféricas, depositando sobre el electrómetro 0,015 microcoulombios en el lapso de 15 minutos, que equivale al incremento de la diferencia de potencial eléctrico en el electrómetro a razón de 0,33 voltios por segundo.

Sobre la frecuencia y otras características de los destellos (rayos y relámpagos) debe señalarse que no se encontró una moda o frecuencia característica. Se evidencia que las descargas ocurren entre 16 y 40 por minuto, y luego de la observación de los rayos al interior de las nubes,

se genera un resplandor (relámpago) fosforescente en el entorno, incrementado en magnitud por el reflejo sobre los espejos lacustres de la zona cenagoza inundada de aguas tranquilas (Figura 3). Todas las descargas son sordas, y son más frecuentes entre la zona interna superior y la zona interna inferior de la propia nube. El color de los destellos (relámpago) es naranja-rojizo y de aspecto muy similar al apreciado en las figuras 4 y 5 como partes brillantes, las descargas (rayos) evidencian el característico color azul eléctrico correspondiente a la ruptura dieléctrica del aire.

El espectro electromagnético de la descarga muestra la típica emisión de la línea $H\alpha$ del Hidrógeno, muy débiles para ser fotografiados con los equipos portátiles transportados sobre las lanchas de pescadores; únicos vehículos para desplazarse en los pantanos.

2.4 Visibilidad del fenómeno.

Las horas de visibilidad del fenómeno son variables, entre las 19 y las 04 HLV, y parecen depender del punto de observación. A distancias relativamente cercanas a los epicentros, en el interior de las ciénagas, el fenómeno comienza a observarse con la desaparición de la luz zodiacal, poco después del ocaso. Desde regiones más distantes como la localidad de “Los Encontrados” es observable a simple vista cuando el cielo está despejado en dirección a la visual desde dicho punto y las regiones de las lagunas, principalmente en horas previas al alba (desde las 01 horas HLV), o antes mediante el empleo de telescopios. A medida que el observador se aleja de los epicentros, la altura relativa del “Relámpago del Catatumbo” respecto al horizonte disminuye, dificultando su observación.

Análogamente, desde regiones de observación alta y distante, la visibilidad se incrementa. Por ser descargas a lo interno de nubes cumulonimbus y estratocúmulos, un observador colocado justo en los epicentros, debajo de las capas de nubes donde tienen lugar las descargas, no aprecia el fenómeno.

El fenómeno comienza a manifestarse poco después del ocaso, incluso con la luz cenital o crepuscular; pero no es visible a ojo desnudo; sin embargo si es detectable fotográficamente como se ilustra en la figura 6, adviértase la ausencia de nubes de tormenta.



Figura 6 El Relámpago desde el Río Bravo, instantes después del ocaso, cuando aun no es visible a simple vista.

La data recabada y la fenomenología descrita permiten proponer un modelo explicativo del origen del fenómeno y su mecanismo físico de ocurrencia, que describiremos a continuación.

3. Modelo Microfísico.

La extensión de los pantanos, permanentemente inundados, hacen pensar que el gas metano debe jugar un rol importante en los procesos microfísicos que tienen lugar en las nubes de la región. Como la molécula de metano (CH_4) es más liviana que el aire, el empuje hidrostático la transporta hacia las capas más altas de nubes, incluso por encima de las nubes de vapor de agua.

En años recientes se ha señalado la importancia del metano en el estudio de fenómenos oceanográficos, especialmente el llamado hielo de metano, que flamea espontáneamente y es característico de las regiones polares y de las profundidades avísales de los océanos, donde la presión y temperatura son muy bajas [13].



Figura 7. Hielo de Metano incandescente. La coloración de la llama y el espectro es idéntica a la del Relámpago del catatumbo.

La intensidad relativa de emisión o absorción de radiación electromagnética de cierta longitud de onda, en particular de la luz, está determinada por la sección transversal de absorción. Los valores de ésta magnitud en la línea Hidrógeno Lyman α , detectada en las medidas del espectro electromagnético del relámpago del Catatumbo, son muy altos para el metano, lo que permite suponer que los destellos (relámpagos) son producidos por la presencia de este gas en las nubes altas de la atmósfera de la región. En efecto para el metano la sección transversal de absorción supera a la del vapor de agua y es mucho más grande que los valores correspondientes al nitrógeno y el oxígeno gaseoso [14].

La fluorescencia observada como relámpago, luego de la generación de rayos a lo interno de las nubes altas, puede deberse a la existencia de estados “inestables” de la molécula de metano y del radical metilo, en los cuales se mantienen un tiempo muy breve para después emitir luz (Estados Metaestables). Los tiempos de vida de los Estados Metaestables son comparables a la duración de la descarga difusa (relámpago); típicamente en el rango de los nanosegundos a los milisegundos [9].

Conocida la presión y la temperatura a lo interno de las nubes, en base a un modelo atmosférico lineal y empleando la Ecuación de Saha (véase [10] y referencias en el), es posible estimar el grado de ionización del metano. De las observaciones realizadas “in situ” se estima

la altura máxima de las nubes donde tiene lugar el fenómeno, en $6,4 \text{ km} \pm 0,2 \text{ km}$, luego el grado de ionización del metano es del orden de 58% a dicha altura 10.

Por otro lado, la disminución de la presión atmosférica permite la condensación del metano en cristales en las partes altas de las nubes.

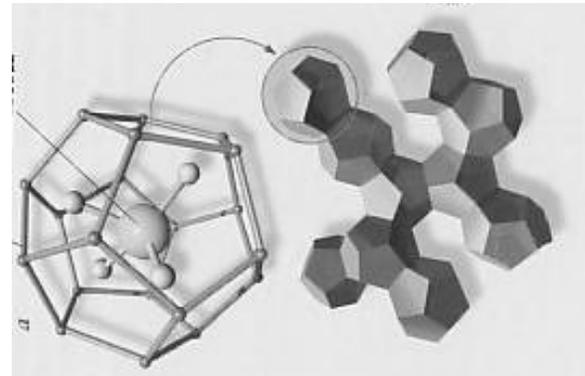


Figura 8 Simetría de los Cristales de Metano.

La simetría particular de la molécula del metano, denominada simetría tetraédrica T_d en la notación de Schoenflies, los convierte en cristales piroeléctricos, vale decir en cristales que se polarizan espontáneamente [15], toda vez que el vector de desplazamiento eléctrico D es de la forma:

$$D_i = D_{oi} + \epsilon_{ik} E_k$$

Que conserva un valor no nulo, incluso en ausencia de campos eléctricos ($E=0$). Al condensarse el metano se formarían cristales, que se polarizan espontáneamente debido a la simetría tetraédrica, ocasionando un gradiente de potencial eléctrico en las células de las capas altas de la nube. Cuando el potencial eléctrico de la célula de la nube supera el potencial de ruptura dieléctrica del aire, se genera la descarga, visible en forma de rayos a lo interno de la misma.

El gas metano dentro de la nube se encuentra en equilibrio hidrodinámico con sus alrededores, pero no en equilibrio térmico, por lo cual la temperatura del gas será mayor que la

temperatura de la atmósfera circundante. La temperatura del gas es del orden de $448\text{ }^{\circ}\text{C}$, correspondiente a la presión en la cota de altura máxima de 6,4 km. Estos valores permiten estimar que la velocidad cuadrática media de los portadores de cargas es del orden de 890 km/s. En consecuencia las cargas se desplazan por el aire a una velocidad superior a la velocidad del sonido (supersónicamente) como cabría de esperar para las descargas eléctricas atmosféricas (rayos).

Si la intensidad del campo eléctrico de la nube es de al menos la correspondiente al campo eléctrico atmosférico en condiciones normales (100 Voltios por metro), entonces la diferencia de potencial entre las alturas superior e inferior de la nube es del orden de 220 000 Voltios. Suponiendo que la descarga ocurre entre las alturas máxima y mínima de la nube (rayo nube-nube) la intensidad de corriente es del orden de 130 millones de amperios para un rayo típico con diámetro de 1 centímetro cuadrado en el canal de descarga y la energía liberada alcanza el valor de un millón de Joules.

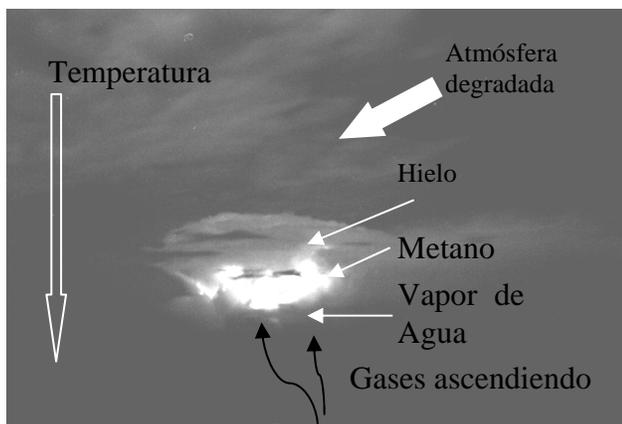


Figura 9: Modelo Microfísico del Relámpago del Catatumbo.

El rayo ocasionaría la ionización del material en el canal de descarga, y la energía liberada incrementará la temperatura en el interior de dicho canal hasta 35.000 kelvin. Para estos valores la descarga (rayo) puede modelarse como un gas ionizado o plasma electrónico. En un plasma electrónico el tiempo de relajación es del orden de 0,9 microsegundos (Falcón, et al

2000), lapso al cabo del cual el plasma se enfría y la descarga se detiene. Ello implicaría que la intermitencia de los rayos es inherente al tiempo de “enfriamiento” (tiempo de relajación) de la temperatura del plasma formado en el canal de descarga del rayo, detalles de tal modelo puede verse en las referencias [9- 12].

4 Conclusiones

De acuerdo al modelo propuesto el metano sería el agente causal para comprender el fenómeno conocido como el “Relámpago del Catatumbo”. La concentración de este gas en el seno de las nubes convectivas sobre la región causaría la separación de cargas eléctricas en el interior de las células de las nubes, posibilitando las descargas (rayos) así como la fosforescencia (relámpago) observada. Ello está en acuerdo con el nivel de conocimientos actuales sobre descargas eléctricas en gases ionizados y con las propiedades fisico-químicas del metano, como se mostró en la sección precedente. Además las concentraciones de Metano en la atmósfera terrestre varían entre porcentajes de 1.5 millonésimas a 10 km de altitud hasta 1.1 a 20 km de altitud [15] en condiciones normales.

El hecho de que las descargas ocurran al interior de las nubes (rayos nube-nube) parece descartar la existencia de agentes ionizantes y geomagnéticos en el substrato, además podría explicar la in detección del fenómeno desde satélites meteorológicos como el “Optical transient Detector”, diseñado para medir la actividad eléctrica atmosférica y las tormentas.

Durante el día el fenómeno no tendría lugar porque la irradiancia solar fotodisocia el metano continuamente, impidiendo la autopolarización eléctrica de la nube. Después del ocaso o durante un eclipse total como ocurriera en dicha región el 26-02-98, se manifiesta la actividad eléctrica del “relámpago del Catatumbo” incluso antes de que la temperatura cambie apreciablemente (Figura 6). Durante el invierno o después de precipitaciones de gran magnitud sobre la región, la visibilidad del fenómeno disminuye e incluso desaparece

por completo. Ello se explicaría porque las precipitaciones intensas y/o prolongadas arrastran el metano hacia la superficie y disminuye la concentración relativa del gas. Análogamente, durante la estación seca (verano) la evaporación y la temperatura media se incrementan, permitiendo la volatilidad del gas y su rápido ascenso a las capas altas de las nubes donde se formarían cristales autopolarizados eléctricamente.

Los vientos no disipan la acumulación relativa del metano porque éste queda atrapado al interior de las nubes. Este proceso de acumulación puede ser favorecido por la existencia de un centro local de baja presión situado entre los ríos Bravo y Catatumbo que acarrea la circulación cerrada de los vientos para cotas inferiores a los tres mil metros.

El desplazamiento relativo de los epicentros se explica por la movilidad de las nubes, cuando las nubes convectivas incrementan su desarrollo vertical son empujadas hacia el lago de Maracaibo y la capa superior rica en metano se disipa. La disipación tiene lugar por acción de los vientos alisios existentes a cotas mayores a los tres mil metros y, principalmente, por la licuación y coalescencia de las gotas de metano al interior de la nube.

Las ciénagas incrementan la majestuosidad del relámpago por la reflexión especular sobre las lagunas de aguas tranquilas y en dirección visual hacia ellas. El carácter inaudible de las descargas se explica porque los rayos ocurren a gran altura, entre los dos mil y tres mil metros, y el sonido de la onda de choque generada por la ruptura del canal de descarga se amortigua en el interior de la nube.

La capa inferior de la nube enriquecida con cargas eléctricas superficiales, por la inducción eléctrica y por la licuación del metano, ocasionan los esporádicos rayos nube-tierra justo cuando las nubes son forzadas a desplazarse sobre las riberas del lago, tal y como se les observa eventualmente sin el

característico resplandor fluorescente del “relámpago del Catatumbo”.



Fig. 10 Descarga Esporádica nube-nube. Adviértase la ausencia de nubes de tormentas y la trayectoria de la descarga.

Queda por explicar la anómala concentración del metano en la parte baja de la atmósfera local. Una razón plausible es la amplia zona de pantanos (cerca de 226 000 hectáreas) ubicados en un clima tropical con circulación cerrada de vientos en una zona de baja presión.

Otra posibilidad es la presunción de existencia de kerógeno III en el substrato, típico de depósitos de hidrocarburos y de concentraciones altas de metano. El substrato del lago de Maracaibo es rico en depósitos petrolíferos y comparte con las ciénagas ribereñas la misma historia geológica. Así la acumulación de metano en la atmósfera podría verse favorecida por el escape de este gas a través de fisuras en el manto rocoso al interior de las ciénagas (lagunas). Ello podría explicar la observación reportada por Centeno [1]. sobre la “misteriosa desaparición del relámpago” en algunos casos, o el súbito incremento de la actividad del relámpago en otros, inmediatamente después de la ocurrencia de sismos intensos de la región.

5 Reconocimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al financiamiento del CDCH-LUZ (# 1940-98). Se agradece la colaboración de la Autoridad Regional del Ambiente, de la Gobernación del Estado Zulia, del Instituto Nacional de Parques y del Museo de Biología de la Facultad de Ciencias de Luz.

Referencias

- [1]Centeno, M. “*El Faro de Maracaibo*” o “*Relámpago del Catatumbo*”. Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales 28 (79) 1968, 353-365.
- [2]Lope de Vega, F. *Obras Escogidas: la Dragontea*. (Eudime tomo II . Madrid. pp 324. 1953).
- [3]Humboldt, A. *Viaje a las regiones equinocciales del Nuevo Continente*.(Tomo III, pp 226. Caracas. Traducción por Lisandro Alvarado. 1956).
- [4]Codazzi, A. *Resumen de la Geografía de Venezuela*. (Biblioteca Venezolana de Cultura. Caracas. pp 23. 1960).
- [5]Zavrostky, A. *Faro del Catatumbo: lo conocido y lo desconocido*. Carta Ecológica . Ediciones ULA N° 56. 1991.
- [6]Hann, J. *Handbuch der Klimatologic*. Stuttgart (Belín. pp 330. 1987).
- [7]Zavrostky, A. El nivel actual de los conocimientos acerca del “Faro del Catatumbo”. Revista Forestal Venezolana N° 25, Ediciones ULA. 1975.
- [8]Golde, R.H. *Physics of Lightning*. (Mc Graw Hill, Dover Publications, 1984).
- [9]Falcón, N; Pitter, W.; Nader, D.; Muñoz, A.; Barrios, T.; Vilorio, A. “Modelo Electro atmosférico del Relámpago sobre el Río Catatumbo”. Sci. J. From Exp. Faculty of Sc. (Ciencia) 8 (2), 2000,155-167.
- [10]Falcón, N; Pitter, W.; Muñoz, A.; Nader, D. *Microfísica del Relámpago del Catatumbo*. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo 7, 1, 47-53. 2000.
- [11]Falcón, N.; Muñoz, A.; Pitter, W. *El Relámpago del Catatumbo: Fenomenología de un Evento Electro-Atmosférico en Venezuela*. XXVIII Biental de la Sociedad Española de Física. Sevilla (España) 2001.
- [12]Falcón, N. Efectos del Metano en la Actividad Atmosférica. Anales del III Congreso de Investigación de La Universidad de Carabobo . Tomo II. Valencia (Venezuela), 351-358, 2002.
- [13]Suess, E., Bohrmann, G., Greinert, J. y Lausch, E. *Flammable Ice*, Scientific American 281, 1999, 52-59.
- [14]Marr, G. *Photoionization Processes in Gases*. (Acad. Press. N.Y, 1967, pp 170).
- [15]Landau, L.D. y Lifshitz, E. M. *Electrodinámica de los medios continuos* (Reverté. Barcelona1981. pp. 72 y ss)
- [16]Crutzen, P. Gas-Phase Nitrogen and Methane Chemistry in the Atmosphere, in Physics and Chemistry of upper atmospheres, McCormac, B. Editor. Reidel Publ. Dordrecht, 120.1972.