

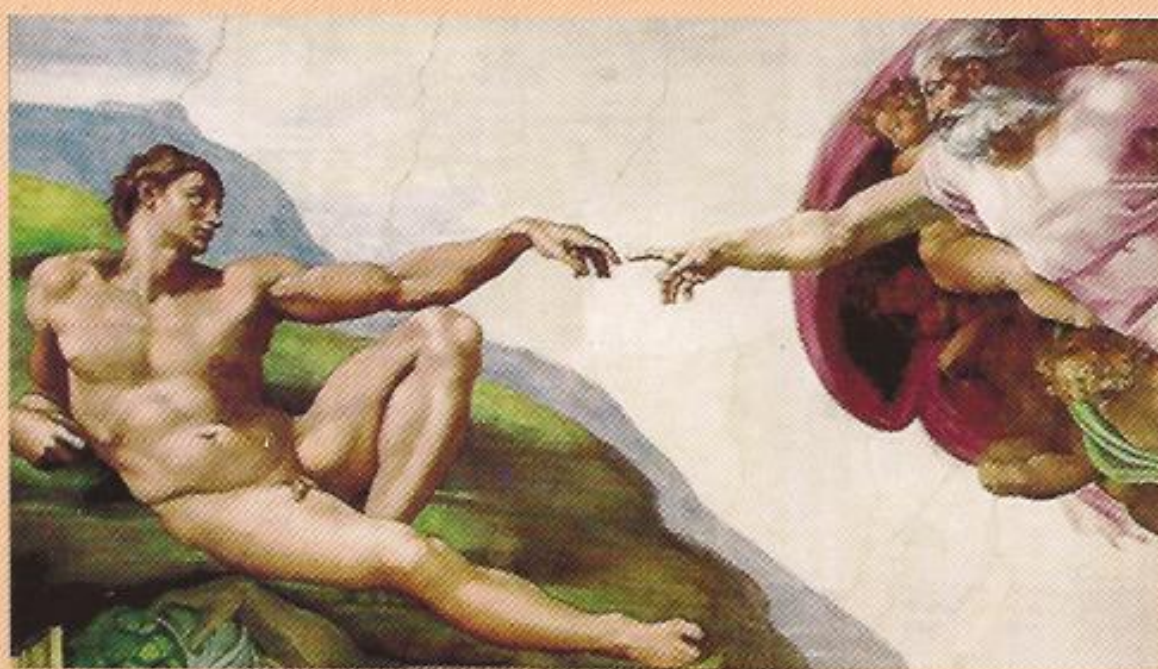


Universidad de Carabobo



Ab Initio:

Orígenes del Universo, la Vida y la Inteligencia



Nelson Falcón & Yaquelin Loyo de Sardi (Editores)

Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología
Universidad de Carabobo - Valencia 2007

Génesis de electrometeoros en Titán y en la atmósfera primitiva de la Tierra

Amilkar Quintero y Nelson Falcón

Universidad de Carabobo. FACYT, Departamento de Física. Carabobo.

E-mail: aaqs1@yahoo.com, nelsonfalconv@gmail.com

Resumen: El aumento del campo eléctrico interno en nubes de tormenta, podría deberse a la contribución de aerosoles piroelectricos, como el metano; sería un factor importante en el proceso de carga de dicha celda para la ocurrencia de los electrometeoros (rayos y relámpagos). Se presenta un estudio microfisico de la influencia del metano como agente cocausal de la intensa actividad eléctrica presente en Titán y de la Tierra primitiva. Utilizando la aproximación de capacitor telúrico para una celda nubosa, se demuestra que apenas una fracción de metano menor a la concentración atmosférica terrestre, puede incrementar el campo eléctrico al interior de la celda nubosa y producir unas descargas eléctricas. Se discute la génesis de electrometeoros en la atmósfera de Titán, donde la concentración de metano es muy superior a la de la Tierra, utilizando el modelo planteado. Los resultados parecen estar en acuerdo con la fenomenología observada. Con el modelo piroeléctrico de carga, se puede explicar además, la síntesis prebiótica durante la Tierra primitiva, según estas ideas la fuente de energía sería provista por descargas eléctricas, en un mecanismo auto sostenido por las descargas tipo Tonwsend en un ambiente rico en Metano; en acuerdo con los resultados de las simulaciones de síntesis de aminoácidos en laboratorio, es condiciones similares a las de la atmosfera primigenia de la Tierra.,

Palabras claves: Electrometeoros, Titán, Atmósfera primitiva, piroelectricidad.

1. Introducción

El origen de la vida en la Tierra es un gran misterio, aun con todos los grandes avances científicos realizados por el hombre, esta interrogante todavía no ha conseguido una explicación satisfactoria.

La primera hipótesis consistente acerca de los procesos químicos que habrían dado origen a la vida fue la formulada por el bioquímico ruso Alexander I. Oparin en 1.924, la cual señala que gracias a la energía aportada por la radiación ultravioleta, las erupciones volcánicas y a las descargas eléctricas de las tormentas, las pequeñas moléculas de los gases atmosféricos (H₂O, CH₄, NH₃) dieron lugar a unas moléculas orgánicas llamadas prebióticas. Estas moléculas, cada vez más complejas, eran aminoácidos (elementos constituyentes de las proteínas) y ácidos nucleicos.

Fue en 1953 cuando Stanley L. Miller, propuso a su tutor Harold Urey, realizar un experimento para contrastar la hipótesis de Oparin. El experimento se basa en proporcionar grandes descargas eléctricas a una

mezcla de agua, metano, hidrógeno y amoníaco; el resultado obtenido fue la formación de algunos ácidos y aminoácidos, que son componentes principales con los que el organismo reconstituye sus proteínas.

El objetivo principal de este trabajo, es proponer un proceso de generación de cargas eléctricas y la subsiguiente producción de electrometeoros (rayos y relámpagos), el cual sugiere al metano como componente principal para la generación de estas cargas en la atmósfera, con el fin de proporcionar un esbozo de la actividad eléctrica en la atmósfera de la Tierra primitiva, utilizando como modelo referencial a Titán, luna de Saturno, ya que esta luna ha sido muy estudiada en los últimos años debido a su similitud con la atmósfera primitiva de la Tierra y su gran actividad eléctrica [Tokano et al., 2001].

El origen de la electrificación de las nubes de tormentas es un problema aún no resuelto en la física atmosférica; se han propuestos muchos mecanismos para explicar el fenómeno pero se han descartado por que poseen diversas incongruencias, además los experimentos de laboratorio no han sido concluyentes [Cooray, 2003]. Ninguno de los modelos anteriores aplicados en la Tierra, toma en cuenta el incremento del desplazamiento eléctrico en el interior de las nubes por la presencia de aerosoles.

En este trabajo se incorpora la influencia de los materiales Piroeléctricos; si estos materiales están disueltos en la atmósfera de ocurrencia, constituyen aerosoles Piroeléctricos, que pudieran servir para explicar el incremento de la intensidad del campo eléctrico terrestre en el interior de las celdas nubosas y la formación de las cargas eléctricas en las nubes [Falcón y Quintero, 2007].

Los materiales y/o aerosoles Piroelectricos, tienen la propiedad de polarizarse espontáneamente debido a las simetrías intrínsecas de las moléculas que lo constituyen, esto implica que el vector de desplazamiento eléctrico es no nulo, aun sin la presencia de campos eléctricos externos [Landau y Lifshitz, 1981], es decir que posee una polarización intrínseca.

Se presenta un modelo teórico microfísica que estima la contribución al vector de desplazamiento eléctrico, de los cristales piroeléctricos como el metano, por ser estos materiales los que presentan autoinducción eléctrica aun en ausencia de campos externos.

El metano (CH_4) se ha vinculado su piroelectricidad como agente coausal del más conspicuo de los electrometeoros en Venezuela, el Relámpago sobre el Río Catatumbo [Falcón et al., 2000, 2001]. Además este elemento ha sido considerado como elemento primordial para la generación de electrometeoros en Titán [Tokano et al., 2001; Quintero y Falcón, 2007]; cabe destacar que el metano, es el segundo elemento de la composición

atmosférica de Titán. Por todo esto, el metano es el aerosol piroeléctrico que se considera como agente principal en el proceso de carga de las nubes.

Conociendo el desplazamiento eléctrico interno de la celda nubosa, es fácil conocer la diferencia de potencial que se genera. Se modela el proceso de carga, utilizando la aproximación del capacitor telúrico, y se utiliza un modelo dependiente del tiempo para la carga de dicha nube ya que los tiempos de carga son muy rápidos.

2. Propiedades piroeléctricas del metano

El metano en las nubes de tormentas, actúa como un aerosol mesoscópicos, es decir, que actúa a escalas intermedias en las nubes convectivas. Estas moléculas debido a su composición estereoquímica presentan momento dipolar eléctrico; tienen una constante de red de $2a \approx 1.095 \text{ \AA}$ y sostienen un ángulo de $\alpha_m = 109,5^\circ$ que corresponden a los orbitales $s-p$ ($H-C-H$) en simetría tetraédrica [Morrison y Boid, 1996], del Grupo de simetría T_d en la notación de Schofield, la figura 1 muestra una representación de la molécula de Metano. De esta simetría es fácil verificar que su momento dipolar es $4.04 \cdot 10^{-29} \text{ C m}$ [Falcón y Quintero, 2007].

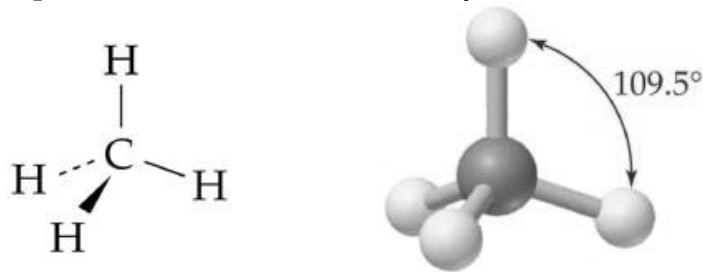


Figura 1: Representación gráfica de la molécula de metano.

Debe considerarse la configuración cristalina del metano pertenece al grupo de simetrías C_4 , estas moléculas y sus microcristales son piroeléctricos. Los cristales piroeléctricos se polarizan espontáneamente al formarse cristales carentes de centros de simetría (eso excluye por supuesto al $NaCl$ que es un sistema cúbico). En efecto la formación de cristales de tipo piroeléctricos en la nube podría crear campos dipolares espontáneos, con tal de que los aerosoles cristalicen bajo algunos de los tipos de simetría C_1 triclínico, C_s o C_2 monoclinico, C_{2v} rómbico, C_4 o C_{4v} tetragonal, C_3 y C_{3v} romboédrico o bien C_6 y C_{6v} hexagonal. El vector de desplazamiento eléctrico es [Landau y Lifshitz, 1981]:

$$\vec{D} = \vec{D}_0 + \vec{P} + \varepsilon \cdot \vec{E} \quad (1)$$

Nótese que aún en ausencia de un campo eléctrico exterior E , donde $\vec{P}$ es la polarización que es proporcional al campo eléctrico, existirá un campo

D no nulo que favorecería la separación de cargas y la avalancha requerida en los modelos de generación de cargas de las nubes.

Para estimar el desplazamiento eléctrico intrínseco D_0 en la celda nubosa de metano, supondremos una celda nubosa de gas diluido (ideal), modelada en una aproximación macroscópica por un circuito equivalente simple de un capacitor de placas plano-paralelas, en ausencia de campos externos ($E=0$) [Falcón y Quintero, 2007].

De la ley de Gauss sobre la celda se obtiene que la el desplazamiento eléctrico intrínseco es igual a la densidad de carga superficial, lo que puede interpretarse como si en cada punto de la celda el campo fuera producido por la molécula de metano más próxima; despreciando las contribuciones de las demás moléculas en concordancia con la aproximación de gas ideal, es decir, $x \sim a$. Por otro lado, podemos emplear la misma aproximación $x \sim a$ en la expresión del vector de intensidad de campo E para el metano:

$$\vec{E}_{dipolo} = -\frac{4}{4\pi\epsilon_0} \frac{q2a.\cos\alpha}{(x^2 + a^2)^{3/2}} \hat{z} \approx \frac{e \cos\alpha}{\sqrt{2} \epsilon_0 \pi a^2} \hat{z} \quad (2)$$

Donde e representa la carga del electrón y ϵ_0 la permitividad en el vacío.

Como quiera que la aproximación gaussiana para la celda es independiente, en la descripción clásica, del volumen de la celda, tenemos que en el caso limite de una celda unimolecular ambas expresiones de los campos deben coincidir ($E_{dipolo} \sim \sigma/\epsilon_0$), se sigue que:

$$D_0 = \sigma \approx \frac{e \cos\alpha}{\sqrt{2} \pi a^2} = 6,93 \left[\frac{C}{m^2} \right] \quad (3)$$

Si la celda es uniforme, su densidad de carga permanece constante con una fracción ($0 \leq f \leq 1$) de metano; en este caso y en virtud de las aproximaciones realizadas, se obtiene [Falcón y Quintero, 2007]:

$$E_0 \cong f \frac{6.93}{\epsilon_0} \left[\frac{C}{m^2} \right] = 7.83 \cdot 10^{11} f \left[\frac{V}{m} \right] \quad (4)$$

3. Actividad eléctrica en Titán

Titán es el satélite más grande de Saturno y el segundo satélite más grande del Sistema Solar, con diámetro de 5150 Km, resulta apenas menor a la mitad de la Tierra. Fue el primer satélite del Sistema Solar descubierto tras los satélites galileanos, el 25 de marzo de 1655 por el astrónomo holandés Christiaan Huygens.



Figura 2: Fotografía de Titán tomada por el Explorador Cassini-Huygens en 2005.

La presencia de una atmósfera fue propuesta por el astrónomo José Comas Solá en 1908 basándose en sus observaciones del oscurecimiento hacia el borde del disco del satélite. La atmósfera de Titán, densa y anaranjada se compone principalmente de nitrógeno (95%), metano (3%) y otros hidrocarburos superiores. Precisamente su composición química se supone muy similar a la atmósfera primitiva de la Tierra en tiempos prebióticos, razón por la cual Titán ha sido objeto de un gran número de estudios científicos. La sonda Huygens de la misión espacial Cassini/Huygens aterrizó en Titán el 14 de Enero 2005 y ha aumentado sustancialmente el conocimiento de Titán.



Figura 3: Superficie de Titán tomada por el Cassini-Huygens en 2005

3.1. Campo eléctrico interno en las nubes de Titán

En las nubes de tormenta, debe existir un campo eléctrico interno que favorezca el proceso de separación de cargas para iniciar la descarga eléctrica o rayo [Rakov y Uman, 2003]. Para calcular el campo eléctrico interno, se utiliza la ecuación (1), sin embargo en la literatura actual no existe ninguna expresión para el campo eléctrico atmosférico en Titán [Tokano et al., 2001],

entonces, en primera aproximación, se desprecia los dos últimos términos de la ecuación (1) que son los que dependen del campo eléctrico externo, con esto, se supone que la mayor contribución al campo eléctrico interno de la celda nubosa es debido a las propiedades piroeléctricas del metano y no por el campo eléctrico externo, tal como en los resultados anteriormente obtenidos para el caso de la Tierra [Falcón y Quintero, 2007].

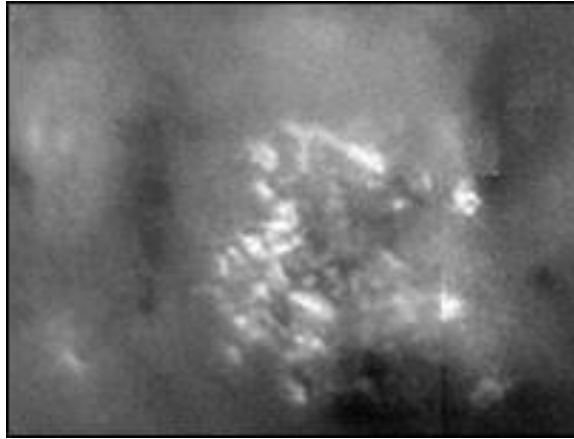


Figura 4: Cúmulo de nubes de aproximadamente 450 Km. Imagen tomada por Cassini-Huygens en el 2005.

Las nubes en Titán no son completamente de metano. La troposfera contiene nubes ópticamente delgadas compuestas de metano, las cuales se forman en núcleos recubiertos por etano [Barth y Toon, 2004]. Para calcular el campo eléctrico interno de las nubes de tormenta en Titán, se utiliza la ecuación 4, utilizando una fracción de metano en la nube de $f = 0.9$, lo que proporciona un resultado de $E_{int} = 7.05 \cdot 10^{11} \text{ Vm}^{-1}$ [Quintero y Falcón, 2007].

El espesor de las nubes de tormenta en Titán es 16 Km [Tokano et al., 2001]; con lo que se puede estimar la capacitancia asociada a la esta nube utilizando la aproximación de capacitor de placas planoparalelas o capacitor telúrico [Iribarne y Cho, 1980], que se basa en suponer la nube con una geometría cúbica de 16 Km de lado. Algunos investigadores asumen la geometría de las partículas, que conforman la nube, esféricas por el hecho de que se conoce su verdadera geometría que es fractal [Rannou et al., 1997], sin embargo en vista del inmenso grado de incertidumbre en las propiedades de la nube, la naturaleza fractal de las partículas puede que no cause ningún error de gravedad en los resultados [Borucki et al., 2006].

Con la aproximación de capacitor telúrico, se puede calcular la capacitancia asociada en las nubes de tormenta en Titán, la cual es $C = 2.36 \cdot 10^{-7} \text{ F}$ [Quintero y Falcón, 2007], utilizando la constante dieléctrica del

metano $k=1.67$ [Lide, 1997], invariante para las bajas temperaturas donde se encuentra.

Utilizando el resultado de campo eléctrico interno para las nubes de Titán, se puede estimar la diferencia de potencial interna, producida por las propiedades piroeléctricas del metano, cuyo resultado es $\Delta V_{int} = 1.13 \cdot 10^{16} \text{ V}$ [Quintero y Falcón, 2007]; este valor es extremadamente grande, si se compara con el voltaje de ruptura para la Tierra [Rakov y Uman, 2003], o el voltaje obtenido en estudios anteriores sobre la electricidad atmosférica en Titán [Tokano et al., 2001].

Utilizando los resultados anteriores, con la diferencia de potencial interna y la capacitancia asociada se puede calcular la carga total de la nube, si esta nunca se descargase, el resultado obtenido es $Q_0 = 2.67 \cdot 10^9 \text{ C}$, que por su puesto también es un valor extremadamente grande para la carga.

3.2. Proceso de carga dependiente del tiempo en las nubes de Titán.

El resultado obtenido para la carga total de la nube en Titán es extremadamente grande sin embargo esta sería la carga si la nube nunca descargara, ya que la máxima carga adquirida está limitada por el voltaje de ruptura del aire ($\Delta V \approx 1 \text{ MV}$), necesario para que la actividad eléctrica aparezca [Gringel et al., 1986], al igual que en la Tierra. Cabe destacar que en Titán, el voltaje de ruptura debe ser similar al de la Tierra, puesto que ambas atmósferas están compuestas principalmente de nitrógeno.

Debido a que la concentración atmosférica de metano en Titán es muy superior a la de la Tierra, la actividad eléctrica en este cuerpo celeste es muy superior al de nuestro planeta [Fulchignoni et al., 2005], por lo que no se puede utilizar un tratamiento electrostático cuando los tiempos de carga son tan vertiginosos, además se sabe que la formación y disipación (tiempo de vida) de las nubes de metano en Titán es muy rápido [Toon et al., 1988], con un tiempo de disipación de 2 horas aproximadamente [Desch et al., 2002], lo cual es atribuido a la precipitación [Griffith et al., 2000]; estos tiempos de vida son muy pequeños si se comparan con los tiempos de vida de las nubes en la Tierra, que pueden ser de uno pocos días [Rogers, 1977]. Continuando con la aproximación de capacitor telúrico, se utiliza la ecuación de la carga de un capacitor dependiente del tiempo:

$$Q(t) = Q_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (5)$$

Donde C es la capacitancia asociada a la nube, Q_0 es la carga total (la carga sin que la nube descargue), R la resistencia del canal de descarga y t es el tiempo. Las descargas de los rayos en Titán tienen alrededor de 20 Km de

largo, así para calcular la resistencia del canal de descarga, se utiliza la conductividad del aire en Titán [Tokano et al., 2001]. La figura 5 muestra la dependencia de la conductividad del aire en Titán, respecto a la altura.

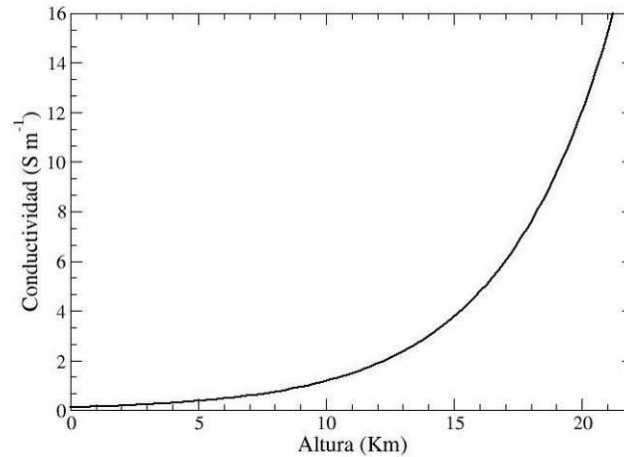


Figura 5: Variación de la conductividad eléctrica del aire en Titán respecto a la altura.

Con estos datos, se puede calcular la resistencia de una columna de aire en Titán para una descarga hasta la superficie con una longitud del canal de descarga de 20 Km y un área transversal de 1,6 cm de diámetro [Lammer et al., 2001a]. Se calcula la resistencia de una columna de aire en Titán, obteniendo como resultado $R = 1.85 \cdot 10^{11} \Omega$ [Quintero y Falcón, 2007]. De aquí se puede obtener el tiempo de relajación de la ecuación 5 que es $\tau = RC = 43660 s$, lo que equivale a doce horas aproximadamente.

Debido a que el tiempo de vida de las nubes de Titán es de dos horas solamente, la figura 6 muestra la variación de la carga de dicha nube respecto al tiempo, hasta su tiempo de vida aproximado.

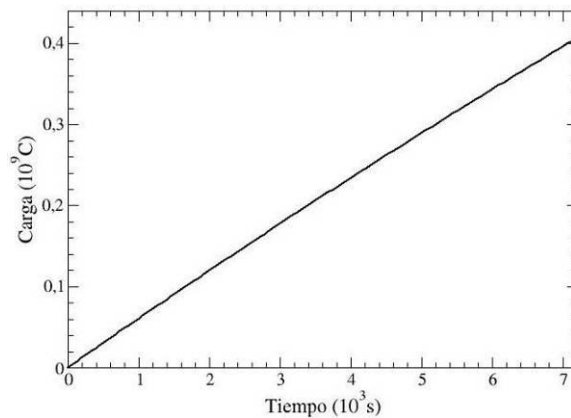


Figura 6: Tiempo de carga de las nubes de tormenta en Titán sin que ocurran descargas.

Es evidente que las nubes de tormentas en Titán no llegan a estos valores tan elevados de carga, porque la nube se descargara cuando la carga alcance el voltaje de ruptura dieléctrico del aire en Titán. En la Tierra las nubes de tormenta alcanzan una carga de 30 C aproximadamente [Rakov y Uman, 2003; Cooray, 2003; Falcón y Quintero, 2007]; debido a la gran similitud entre las atmósferas de la Tierra y Titán, es lógico pensar que las nubes de tormenta en Titán alcanzan esa carga también. La figura 7 muestra la carga de las nubes de tormenta en Titán, hasta 60 C, pero esta vez dependiendo de la frecuencia.

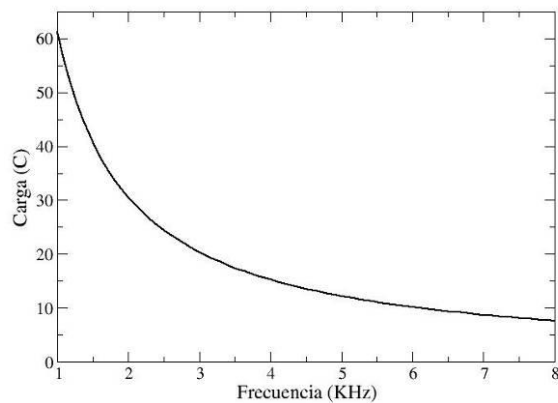


Figura 7: Proceso de carga de las nubes de tormenta en Titán dependiendo de la frecuencia, utilizando la misma carga máxima de las nubes de tormenta en la Tierra.

Estudios anteriores indican que las descargas hacia la superficie, en Titán se comparan a las descargas llamadas tipo II, en la Tierra, y que su máxima energía se obtiene alrededor de 4 KHz [Lammer et al., 2001b], este es el mismo rango de frecuencia obtenido en la figura 7. Con este estudio se puede comprobar como el modelo piroeléctrico del metano se aplica a los electrometeoros en Titán. Además este el modelo concuerda con las observaciones en Titán según la cual la concentración de metano y la actividad eléctrica atmosférica, resultan mayores que la terrestre.

4. Atmósfera primitiva de la Tierra

La evolución de la atmósfera de la Tierra un eon (mil millones) de años atrás, es poco conocida, sin embargo diversos estudios han sugerido una serie de eventos plausibles para el desarrollo de la atmósfera como se conoce en la actualidad. La atmósfera terrestre actual es referida como la tercera atmósfera de la Tierra, ya que anteriormente existieron dos grandes etapas, donde la composición química era totalmente distinta a la composición actual [Hannes y Arrhenius, 1976].

La primera etapa de la atmósfera primitiva, estaba construida de Hidrogeno y Helio, que son los gases más abundantes que formaron el Sistema Solar Planetario y son los de mayor abundancia en el universo; sin embargo el calor de la corteza terrestre todavía fundida y el Sol con un viento solar probablemente muy intenso ya que no existía la magnetosfera, disipó esta atmósfera, ya que estos gases son muy ligeros y la masa de la Tierra, no es lo suficientemente grande como para poder retenerlos, a diferencia de Júpiter y Saturno donde sus respectivas atmósferas poseen estos gases en su composición química [Mosqueira, 2005].

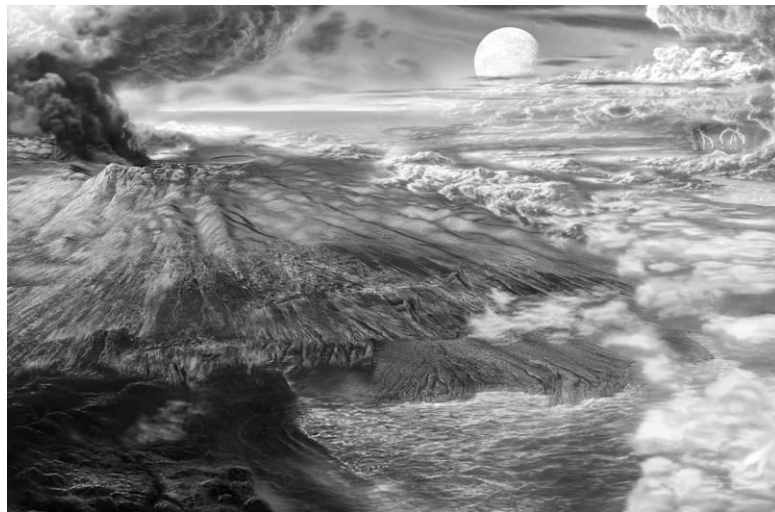


Figura 8: Representación artística de la atmósfera primitiva de la Tierra
[http://www.utah.edu/unews/releases/06/feb/hades_earth.html].

Aproximadamente en 4,4 mil millones de años la corteza terrestre se habría enfriado lo suficiente para poblarse de volcanes que liberarían vapores de dióxido de carbono y amoníaco a la atmósfera, lo que permitió el desarrollo de la segunda etapa de la atmósfera terrestre, la cual estaba compuesta primordialmente de dióxido de carbono y vapor de agua, a menor escala el nitrógeno y casi inexistente el oxígeno. En esta etapa la atmósfera terrestre era cien veces más densa que la atmósfera actual, lo que permitía que el dióxido de carbono generase océanos y precipitación de este componente y otros derivados de carbono. Además, el efecto invernadero producido era el causante de los altos niveles de dióxido de carbono y metano en la atmósfera, impidiendo que la Tierra se congelase.

Durante la época en la cual la Tierra tuvo su segunda atmósfera es que se sospecha se iniciaron los mecanismos prebióticos, desatando grandes controversias en torno al origen de la vida en la Tierra. Aleksandr Oparin en 1924 publicó una obra donde imaginaba que, gracias a la energía aportada

por la radiación ultravioleta, las erupciones volcánicas y a las descargas eléctricas de las tormentas, las pequeñas moléculas de los gases atmosféricos (H_2O , CH_4 , NH_3) dieron lugar a unas moléculas orgánicas llamadas prebióticas. Estas moléculas, cada vez más complejas, eran aminoácidos (elementos constituyentes de las proteínas) y ácidos nucleicos, en otras palabras, los estudios de Oparin se referían a que en el planeta primitivo habrían existido las condiciones físicas y los ingredientes químicos necesarios para iniciar la vida.

Fue en 1952 cuando Stanley L. Miller un estudiante de doctorado, realizó bajo la supervisión de Harold C. Urey el famoso experimento que demostró la teoría propuesta por Oparin. Urey estudiaba los planetas exteriores del sistema solar, este consideraba que la atmósfera de la Tierra primitiva debía ser reductora, donde el hidrógeno está presente pero falta el oxígeno, y que dichas condiciones serían relevantes para el origen de la vida, como el mismo Oparin había supuesto; los resultados fueron muy positivos al inaugurar los estudios sobre la química prebiótica como un nuevo enfoque experimental del estudio científico del origen de la vida. [Bada y Lazcano, 2003].

El experimento de Miller consiste en someter una mezcla de metano, amoníaco, hidrógeno y agua a descargas eléctricas de 60000 voltios. El resultado obtenido fue la formación de una serie de moléculas orgánicas como ácido aspártico, ácido glutámico, ácido acético, ácido fórmico, entre otras moléculas y algunos aminoácidos, que son los componentes fundamentales con los que el organismo reconstituye permanentemente sus proteínas específicas consumidas por la sola acción de vivir.

El experimento de Miller podría ser complementado a través de modelo piroeléctrico de electrometeoros, ya que este modelo se basa en el hecho de que elementos como el metano generan suficiente energía para desatar descargas eléctricas que den origen a moléculas orgánicas más complejas. Con el modelo piroeléctrico se podría pensar que el mecanismo de generación de energía es continuo debido a la presencia de materiales piroeléctricos en la atmósfera de ocurrencia, lo que hace pensar de una manera razonable y plausible la producción de energía eléctrica en el escenario de la atmósfera primitiva terrestre, ya que los artículos de Miller y de investigaciones posterior, se centran en la producción de elementos orgánicos, y ninguno explica cual es el mecanismo de generación de energía, ya que obviamente la fuente de energía en los experimentos de laboratorio para dichos estudios es completamente artificial y suministrada por los experimentadores, en forma de arcos voltaicos de descargas eléctricas.

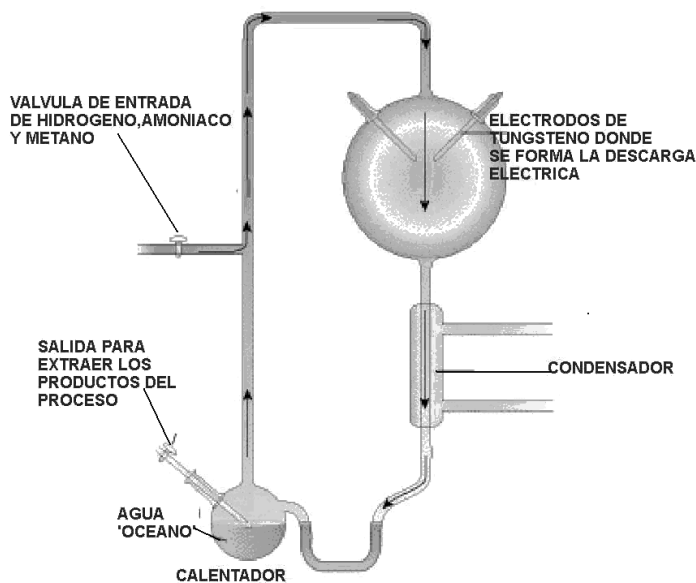


Figura 9: Representación gráfica del montaje experimental utilizado por Miller.

Hoy en día, numerosos científicos creen que la atmósfera primitiva era diferente a la que supuso Miller. Las evidencias fotoquímicas y geoquímicas sugieren que la atmósfera no era reductora, es decir, que estuvo compuesta mayormente de dióxido de carbono y nitrógeno en lugar de hidrogeno, metano y amoniaco [Kasting, 1993].

Sin embargo, un aspecto resaltante en la producción de descargas eléctricas es a través de los volcanes que poblaron la Tierra durante esta etapa, ya que la actividad volcánica era extremadamente grande, y recientes experimentos han demostrado que la producción de rayos formados por volcanes son una fuente importante fuente de reactivos de nitrógeno y fósforo, que son dos elementos fundamentales para la vida [Navarro-González y Segura, 2003].

A pesar de todos los reportes de actividad eléctrica durante las erupciones volcánicas, existen pocos investigadores interesados en estudiar los rayos y relámpagos en las erupciones volcánicas, sin embargo se han realizado experimentos que reproducen las condiciones de la Tierra primitiva utilizando arcos eléctricos para simular rayos y suponiendo una atmósfera no reductora [Navarro-González y Segura, 2003].

Estos experimentos han centrado la atención en la producción de nitrógeno y fósforo, suponiendo que la actividad eléctrica se genera a través de los volcanes y esta actividad eléctrica genera una gran cantidad de elementos químicos prebióticos; y no explican como se produce la actividad eléctrica debido a los volcanes. En experimentos anteriores basados

principalmente en el estudio de los volcanes en la Tierra primitiva y en Marte primitivo, se ha considerado la composición de los gases de los volcanes con 64 % metano [Kuramoto, 1997], que representa una gran cantidad de metano, componente considerado como el principal en la generación de actividad eléctrica atmosférica [Falcón y Quintero, 2007]; lo que podría ofrecer la respuesta de la generación de rayos y relámpagos en las erupciones volcánicas.

Aunque la atmósfera primitiva de la Tierra no haya sido reductora, tal como Miller supuso, la actividad eléctrica atmosférica era bastante persistente como para generar moléculas químicas más complejas de las moléculas más simples que existían en la atmósfera primitiva; debido a la gran actividad volcánica que había. El modelo piroeléctrico de electrometeoros podría ser una respuesta a como es que las erupciones volcánicas están acompañadas de actividad eléctrica conspicua, tal y como aduce Navarro-Gonzales, R. y Segura, A. (2003) para explicar la energía de activación de moléculas prebiótica .

5. Conclusiones

Recientemente se pudo comprobar que la actividad eléctrica en Titán es consistente con las observaciones de ondas Schumann en el rango de frecuencia adecuado [Fulchignoni et al., 2005], en otras palabras, los electrometeoros en Titán si existen. El modelo piroeléctrico de carga de nubes de tormentas, podría ser una muy buena aproximación para describir la actividad eléctrica en Titán debido a que la concentración atmosférica de metano en este cuerpo celeste es aproximadamente de tres por ciento.

Esta puede ser la clave para la intensa actividad eléctrica existente en dicho cuerpo celeste, ya que el metano actúa con un rol similar al del agua en la Tierra (lluvias, océanos, lagos, etc.) [Desch et al., 2002], pero no como partículas en un modelo de carga convectivo o inductivo, ya que estos son insuficientes para generar el campo eléctrico de ruptura necesario para que ocurra una descarga [Tokano et al., 2001]; sino por sus propiedades piroeléctricas. Además, existe actividad eléctrica atmosférica confirmada (como en Júpiter y Saturno), o supuesta en casi todos los planetas del sistema solar [Desch et al., 2002], donde la concentración de metano en cada una de las atmósferas respectivas, es bien considerable.

Al utilizar las propiedades piroeléctricas del metano, cuando se calcula la contribución de este al campo eléctrico interno en las nubes de tormenta, se obtienen valores gigantescos para este campo eléctrico, esto porque las nubes en Titán están compuestas principalmente de metano, lo que indica que una concentración extremadamente pequeña de metano en la

nube, sería suficiente para generar el potencial mínimo de descarga, es decir que se produzca el rayo [Falcón y Quintero, 2007].

Usando la aproximación de capacitor telúrico para las nubes en Titán, se obtiene una capacitancia relativamente pequeña, tomando en cuenta el gran tamaño de las nubes de tormenta en Titán, debido a que el valor de la constante dieléctrica del metano es muy pequeño ($k=1.67$ [Lide, 1997]); esta es la causa por la cual equivocadamente se consideran que el metano no podría vincularse a la generación de electrometeoros, sin embargo, la influencia del metano en la generación de electrometeoros, no es debido a su constante dieléctrica, sino por sus propiedades piroeléctricas.

Se debe tomar en cuenta que las nubes de tormenta en Titán poseen un tiempo de vida muy corto [Desch et al., 2002], y los tiempos de carga son muy rápidos debido a la gran concentración de metano; se utiliza el modelo de la carga en el tiempo de un capacitor y una resistencia en serie, donde el capacitor esta asociado con las nubes de tormentas, y la resistencia es proporcional a la conductividad del aire de Titán. La frecuencia asociada a la máxima carga, antes de una descarga, esta en el orden de $2\text{ KHz} - 6.25\text{ KHz}$, usando una carga similar a la existente en la Tierra. Este resultado concuerda con resultados anteriores propuestos por otros investigadores [Lammer et al., 2001b].

La electricidad atmosférica en Titán ha sido discutida en muchas oportunidades, principalmente con aplicaciones en química orgánica, ya que las descargas eléctricas pueden conectar la compleja química orgánica de Titán, con el supuesto ambiente prebiótico en la tierra primitiva, y podría ayudar a comprender el origen de la vida [Tokano et al., 2001]. Diversos experimentos de laboratorio de descargas eléctricas en gas mezclado de N_2-CH_4 [Navarro-Gonzalez y Ramirez, 1997; Fujii y Arai, 1999], han demostrado que ciertos hidrocarburos se pueden producir por descargas eléctricas [Tokano et al., 2001]. Con el modelo piroeléctrico de carga, se puede observar como los hidrocarburos, pueden generar descargas eléctricas, lo que puede ser un mecanismo auto sostenido, que usa la naturaleza para regenerar la atmósfera, tal como es bien conocido en la Tierra, que los rayos y relámpago producen ozono que origina la tan necesaria capa de ozono en la atmósfera [NASA, 2007], utilizando un proceso basado en las propiedades piroeléctricas de los componentes atmosféricos, incluso en ambientes sin agua.

El modelo piroeléctrico de electrometeoros puede complementar el experimento de Miller, ya que al utilizar grandes concentraciones de metano, se debe generarse espontáneamente suficiente energía eléctrica (a través del aumento del vector de desplazamiento eléctrico en las nubes, debido a la piroelectricidad del metano) para desatar una descargas y empezar así el

proceso de generación de moléculas orgánicas más complejas. El modelo piroelectrico representa una fuente de energía natural auto generada por la misma atmósfera de ocurrencia, y no por fuentes artificiales como en el caso del experimento de Miller. Suponiendo que la atmósfera primitiva de la Tierra no fuese reductora, como afirman algunos estudios, las cantidades de metano en la atmósfera primitiva, igualmente serian los requeridos para producir una descarga eléctrica y sintetizar las moléculas químicas mas complejas.

Vale la pena mencionar, que el modelo piroelectrico esta acorde con las observaciones realizadas, puesto a que en las atmósferas de los cuerpos celestes donde se supone la existencia de elecrometeoros. La concentración de metano en cada una de las respectivas atmósferas, oscila entre uno y tres por ciento de la composición química atmosférica, que son valores muy superiores, a los valores que se tienen en la Tierra, sugiriendo que la actividad eléctrica, también sea superior; además en las atmósferas de estos cuerpos la existencia de agua o vapor de agua es casi nula.

Referencias:

- Bada, J.L. y Lazcano, A. (2003), "Prebiotic soup. Revisiting the Miller experiment" *Science* 300, 745-746.
- Borucki, W. J.; Whitten, R. C.; Bakes, E. L. O.; Barth, E. y Tripathi, S. (2006), "Predictions of the electrical conductivity and charging of the aerosols in Titan's atmosphere". *Icarus* 181, 527-544.
- Cooray, V. (2003), "The Lightning Flash". IEE Power & Energy, IET Ed. pp 17.
- Desch S. J.; Borucki W. J.; Russell C. T. y Bar-Nun, A. (2002), "Progress in planetary lightning". *Rep. Prog. Phys.* 65, 955-997.
- Falcón, N.; Pitter, W; Muñoz, A; Barros, T; Vilorio, A. y Nader, D. (2000), "Modelo Electroatmosférico del Relámpago sobre el Río Catatumbo". *Sci. J. From Exp. Faculty of Sc.(Ciencia)* 8, 2,155-167.
- Falcón, N; Pitter, W.; Muñoz, A. & Nader, D. (2001) *Microfísica del Relámpago del Catatumbo. Ingeniería UC*, 7, 1, 47-53
- Falcón, N. y Quintero, A. (2007) "Electrical self-polarization in intraclouds lightning flashes". En prensa.
- Fujii, T. y Arai, N. (1999) "Analysis of N-containing hydrocarbon species produced by a CH₄/N₂ microwave discharge: simulation of Titan's atmosphere". *Ap. J.* 519, 858-863.
- Fulchignoni, M., et al. (2005), "In situ measurements of the physical characteristics of Titan's environment". *Nature* 438, 785-791.
- Gibbard, S.G., Levy, E.H., Lunine, J.I. y de Pater, I. (1999), "Lightning on Neptuno". *Icarus* 139, 227-234.

- Griffith C. A., Hall J. L., Geballe, T., 2000. Detection of daily clouds on Titan. *Science* 290, 509-513.
- Gringel, W.; Rosen, J.K. y Hoffman, D.J. (1986), "Electrical structure from 0 to 30 km; in the Earth's Electrical Environment". Krider, E. P. & Roble, R.I. Ed. Washinton DC Nacional Academia Press, pp 166-182.
- Hannes, A. y Arrhenius, G. (1976), "Origin of the Earth's ocean and atmosphere, evolution of the Solar System". Washington, D.C.: National Aeronautics and Space Administration.
- Iribarne, S.V. y Cho, H.R. (1980), "Atmospheric Physics". D. Reidel Publishing Company, 129-146.
- Karting, J. L. (1993), "Earth's early atmosphere". *Science* 259, 920-926.
- Kuramoto, K. (1997), "Accretion, core formation, H and C evolution of the Herat and Mars". *Phys. Earth Planet. Int.* 100, 3-20.
- Lammer, H.; Tokano, T.; Molina-Cuberos, G. J.; Stumptner, W. y Fischer, G. (2001a), "Titan lightning: an energy source for biochemistry". En: ESRIN (Ed), *Proceedings of the First European Workshop 2001*. ESA SP-496, Noordwijk: ESA Publications Division, ISBN 92-9092-806-9, 2001, pp. 155 - 158.
- Lammer, H.; Tokano, T.; Fischer, G.; Stumptner, W.; Molina-Cuberos, G. J.; Schwingenschuh, K. y Rucker, H. O. (2001b), "Lightning activity on Titan: can Cassini detect it?". *Planet. Space Sci.* 49, 561-574.
- Landau, L. y Lifshitz, E. (1981) "Electrodinámica de los medios Continuos". Reverté Barcelona, pp.70-73.
- Lider, D.R. (1997), "Handbook of Chemistry and Physics". CRC England Ed.
- Mosqueira, G. (2005), "¿Cómo fue la Tierra primitiva? Desde sus orígenes hasta el surgimiento de la vida unicelular en nuestro planeta". *Correo del Maestro* Núm. 107, abril 2005. <http://www.correodelmaestro.com/anteriores/2005/abril/anteaula107.htm>.
- Morrison, M. y Boid, L. (1996) "Química Orgánica". McGraw Hill, pp 347.
- NASA (2003) <http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2003/0617eyes.html>
- Navarro-González, R. y Ramírez, S.I. (1997), "Corona discharge of Titan's troposphere". *Adv. Space Res.* 19, 1121-1133.
- Navarro-Gonzales, R. y Segura, A. (2003), "Volcanic Lightning and the availability of reactive nitrogen and phosphorus for chemical evolution". Ediciones del Centro de microscopia electrónica, Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela, pp. 37-48.
- Quintero, A. y Falcón, N. (2007), "The methane influence as a self-polarized aerosol in Titan's electrical activity". En prensa.

- Rakov, V. A. y Uman, M. A. (2003), "Lightnings Physics and Effects". Cambridge Univ. Press (Ed), pp. 1-12, 321-341.
- Rannou, P., Cabane, M., Chassefiere, E., Botet, R., McKay, C. P., Courtin, R. (1995), "Titan's geometric albedo: Role of the fractal structure of the aerosols". *Icarus* 118, 355-372.
- Rinnert, K. (1985), "Lightning on other planets". *J. Geophys. Res.* 90 (D4), 6225-6237.
- Rogers, R., 1977. Física de las nubes. In: Reverté (Ed), Barcelona. pp 219-239.
- Tokano, T.; Molina, G.J.; Lammer, H. y Stumptner, W. (2001), "Modelling of thunderclouds and lightning generation on Titan". *Planet Space Sci.* 49, 539-544.
- Toon O. B.; McKay C. P.; Courtin R. y Ackerman T. P. (1988), "Methane rain on Titan". *Icarus* 75, 255-284.