

MODELO DE ELECTRIFICACION CONVECTIVA:

S. MASUELLI, C. M. SCAVUZZO, J. M. CARANTI

FaMAF - Universidad Nacional de Córdoba.
Medina Allende y Haya de la Torre- 5000 Córdoba
e-mail: masuelli@roble.fis.uncor.edu

En este trabajo se estudia el Mecanismo de Electrificación Convectiva. Para ello se ha desarrollado un modelo de simulación numérico bidimensional de tipo cinemático, es decir que toma como datos los campos de viento y temperatura de una nube sobre la cual se corre el modelo eléctrico. Este incluye una formulación microfísica simplificada en volúmenes de agua. Sobre la parte eléctrica supone la existencia de iones pequeños e iones grandes, incluyendo las interacciones entre ellos y con las partículas de la nube. Los resultados sugieren que el mecanismo convectivo produce una estratificación vertical de la carga en acuerdo con las observaciones en nubes reales. Los valores máximos de carga y campo eléctrico alcanzados en una hora de evolución son un orden de magnitud menores que los esperados para generar descargas.

A numerical two-dimensional model has been developed to study convective electrification. The model is kinematical i. e. it takes the temperature, wind and liquid water from a cloud on which the electrical model runs. This includes a simplified bulk water microphysical formulation. The electrical model includes large and small ions, and the interactions between them as well as the ones with the cloud particles. Results show that the convective mechanism does produce a vertical stratification in agreement with in situ cloud observations. However, the maximum charge and E field after an hour evolution are one order of magnitude lower than those necessary to produce lightning.

Introducción

La estructura básica de la distribución de cargas en la nube consiste de una región de carga negativa en la parte baja de la nube y una región de carga positiva en la parte superior. La carga negativa es relativamente concentrada (1 a 10 C km^{-3} en el momento de la descarga) y se localiza en forma estratificada. La carga positiva por el contrario es menos concentrada y más difusa. Las mediciones del campo eléctrico en donde se ha iniciado la descarga son del orden de los cientos de kilovoltios por metro. Por otra parte, las mediciones de la carga de las partículas indican que la carga máxima de una partícula es del orden de 10 a 100 picocoulomb.

El mecanismo convectivo se basa en que la generación de cargas es externa al sistema, esto es las partículas se cargan por la captura de los iones atmosféricos, mientras que las corrientes de aire se encargan de la separación de las mismas. Aún persiste la duda de si para una nube con su base cercana a la tierra hay suficiente tiempo para que el mecanismo convectivo opere. El antecedente más reciente encontrado sobre el modelado de este mecanismo en forma aislada es el correspondiente a Chiu y Klett de 1976^[1], el cual es referenciado por otros trabajos y aún por

reviews recientes como el de Saunders de 1992^[2]. En el presente trabajo se mejora el modelo de Chiu y Klett^[1] en los siguientes aspectos: se utilizan para el pegado de los iones a los hidrometeoros las ecuaciones dadas por Chiu^[3], se incluye las partículas de precipitación, se incorpora la fase hielo, se tiene en cuenta la carga de los iones grandes y se incluye la descarga por puntas.

Modelo de electrificación desarrollado

El presente modelo es bidimensional desarrollado en el plano x-z, con una grilla regular de 48 puntos, con $\Delta x=250\text{m}$.

La parte que llamaremos dinámica simula el movimiento e interacciones entre las partículas y los iones en la etapa madura de una nube de tormenta. Para ello se utilizan campos de viento, temperatura y densidad del aire constante en el tiempo, provistos por un modelo 3-dim de convección profunda^[4]. Las interacciones microfísicas de las partículas se describen mediante expresiones simples basadas en trabajos típicos sobre el tema^[5].

Se consideran 4 tipos de partículas cuyas características se muestran en el cuadro 1:

Cuadro 1: Características de las partículas

PARTICULA	radio μm	Vel. ter. m/s	Densidad δ g/cm ³	Núm. Máx. 1/l
Granizo	5000	21	0,6	0,01
Gotas de Lluvia	300	2.5	1	20
Cristalito	50	0	0,8	5000
Gotita de Nube	10	0	1	200000

Se tiene en cuenta para las partículas las interacciones que se muestran en el diagrama 1 y que se detallan más adelante. En estas interacciones la masa es conservada.

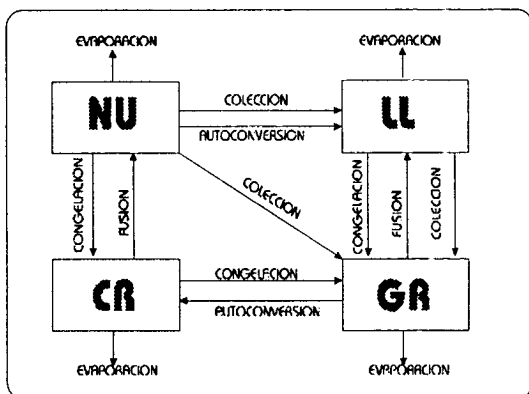


Diagrama 1: Interacciones de las partículas

Se consideran tres tipos de iones, cuyas interacciones se muestran en el diagrama 2:

a-Los pequeños, que se definen a partir de la carga como *iones pequeños positivos* e *iones pequeños negativos*. La velocidad terminal v_T de los mismos es igual al producto entre el campo eléctrico E y su movilidad μ .

b-Los grandes se caracterizan por tener una relación carga-masa muy pequeña por lo que su velocidad terminal puede ser considerada nula.

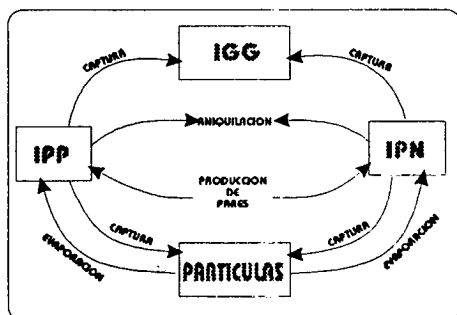


Diagrama 2: Interacciones de los iones

Ecuaciones del modelo

Dinámica de las partículas: Las ecuaciones que describen la dinámica de las partículas de nube y precipitación, y sus interacciones se detallan a continuación, donde n_i es la concentración de partículas del tipo i .

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} = -\nabla \cdot (n_i v + n_i v_T - K \nabla n_i) + \sum_{i \neq j} \left(\frac{\partial n_i}{\partial t} \right)_i + ev$$

El primer y el segundo término corresponden a la advección, el tercero representa el intercambio turbulento, el cuarto el intercambio entre categorías de partículas y el último la evaporación. K es el coeficiente de turbulencia y v es la velocidad del viento.

La colección de partículas de tipo i por otras de tipo j puede ser escrita como sigue:

$$\left(\frac{\partial n_i}{\partial t} \right)_{j \text{ col}} = -n_{ij} \pi (r_i^2 + r_j^2) |\bar{v}_{T_i} - \bar{v}_{T_j}| n_i n_j$$

Otros aspectos que se tiene en cuenta en el modelo son: a) el crecimiento húmedo y seco en la colección de las gotas por los granizo, b) el rol de la capa cuasi líquida en la captura de los cristalitos por los granizos; mediante la dependencia con la temperatura del coeficiente de eficiencia de colección respectivo. En la figura 1 se muestran las dependencias con la temperatura de los diferentes términos de intercambio entre las partículas.

El término de autoconversión, que simula el crecimiento de las gotitas y cristalitos por difusión de vapor hasta alcanzar las categorías de gotas y granizos, se obtiene a partir del término más significativo de la parametrización de Orville y Kopp [5].

Para el término de evaporación se supondrá, como en otros trabajos del tipo [5], que la tasa de evaporación es proporcional a la subsaturación con un coeficiente que depende de cada partícula según su tamaño.

Electricidad de la nube: Las ecuaciones utilizadas son basadas en las ideas generales del modelo de electrificación de Chiu [3], incluyendo la descarga de iones por puntas [6], la fase hielo y la carga de los iones grandes.

Para simular las propiedades eléctricas, se introducen en el modelo las variables eléctricas. Ellas son las concentraciones de iones pequeños, las concentraciones de carga espacial asociadas

con cada una de las partículas de agua y los iones grandes, y el campo eléctrico. Estas variables son tratadas de la misma forma que Chiu [3] y en cuanto al cargado de las partículas en fase sólida se tratan igual que las partículas líquidas.

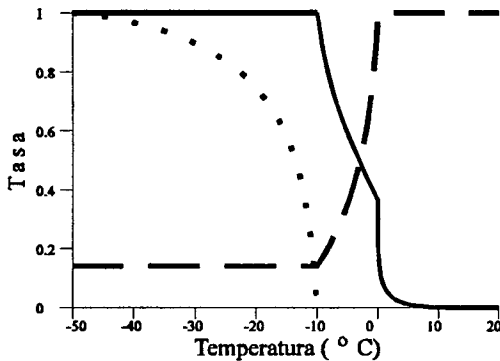


Figura 1: términos de intercambio vs. T. Línea llena: eficiencia de colección de gotas por granizos, línea semillena: eficiencia de colección de cristaliticos por granizos y línea de puntos: tasa de conversión de gotitas a cristaliticos (en 10s).

Los términos de intercambio de carga entre las distintas partículas, durante algún proceso X, son de la siguiente forma, donde q_i es la carga individual de una partícula del tipo i :

$$\left(\frac{\partial Q_i}{\partial t} \right)_{jx} = \left(\frac{\partial n_i}{\partial t} \right)_{jx} q_i$$

Captura de iones: Dos mecanismos de captura de iones por partículas son considerados: la captura por difusión y la captura por atracción eléctrica. Las ecuaciones que representan ambos mecanismos como su interacción son similares a los usados por Chiu [3] para el caso de captura iones por gotas.

Resolución del modelo:

El modelo de simulación del presente trabajo se resuelve mediante un esquema de diferencia finita *centrada* para las derivadas espaciales y *adelantada* para las derivadas temporales con un paso de tiempo de 2,5 s.

Las condiciones de contorno utilizadas fueron: *Condiciones de contorno horizontales periódicas para las partículas e iones.* Se supone que fuera del dominio la distribución de las cargas es la de tiempo bueno. Esto produce una corrección al campo eléctrico calculado. *En el

extremo superior la condición de contorno es abierta, los flujos de las distintas cantidades en el extremo son iguales a las del punto inmediato inferior. *En el extremo inferior la condición es que nada sale del piso (salvo la descarga de iones por puntas), pero todo lo que baja es incorporado al mismo, es decir que desaparece del dominio. *La superficie terrestre es considerada como un conductor perfecto. Por lo tanto debe considerarse al carga imagen para calcular el campo eléctrico

Para obtener las distribuciones iniciales de iones pequeños, iones grandes y campo eléctrico se parte de la distribuciones de tiempo bueno y se hace correr el modelo, sin las partículas durante 4 minutos. Las distribuciones de tiempo bueno de iones pequeños y del campo eléctrico se tomaron del trabajo de Chiu [5]. La distribución inicial de iones grandes se obtuvo de elegir como valor a nivel de suelo el valor consignado por Israel [7] y compatibilizarlo con el campo y las distribuciones de iones elegidos.

La carga inicial de las partículas es nula mientras que la de los iones grandes se obtiene del procedimiento descrito en el párrafo anterior.

Las condiciones iniciales de las partículas fueron elegidas de modo que sean similares a las concentraciones medidas en nubes y su distribución de modo que al correr el modelo lo hagan suavemente y respetando el contorno de la nube.

Resultados y análisis:

Se ha utilizado una nube con una sola celda convectiva simétrica, con una velocidad del viento ascendente máxima de 20 ms^{-1} . La base de la nube se halla a 750 m del piso ($T=290 \text{ }^\circ\text{K}$) mientras que el tope se halla a 7,5 km del piso ($T=233 \text{ }^\circ\text{K}$).

En las figuras 2, 3 y 4 se muestran las distribuciones de cargas total, de la carga en las partículas de precipitación y de la carga en las partículas de nube, respectivamente para 30 minutos de simulación.

En la figura 2 se observa que la región de carga negativa se ubica en la parte inferior de la nube (máximo carga $h \approx 2000\text{m}$) y tiene un menor

