

# Study of Electrical Discharges in the Atmosphere (SEDA)

Pablo Suárez Blanco \*

## Abstract

La comprensión de la microfísica y la formación de tormentas eléctricas es crucial para mejorar los modelos predictivos y las estrategias de mitigación de desastres naturales. Las tormentas eléctricas son fenómenos complejos que involucran interacciones entre partículas cargadas, corrientes de aire y procesos de condensación. Este estudio propone una serie de experimentos futuros para medir con precisión las frecuencias emitidas por los rayos y analizar la distribución de cargas en las nubes de tormenta, factores clave en la generación de descargas eléctricas. Se planea el uso de una antena para detectar las emisiones electromagnéticas de los rayos, lo que permitirá correlacionar la intensidad de la descarga con las características de la nube.

Además, se investigará la carga de la lluvia mediante un sistema de medición de gotas con técnicas de radar y espectroscopía.

Paralelamente, se desarrollará un programa de simulación numérica que replicará la formación de tormentas eléctricas, integrando datos experimentales para modelar con mayor precisión la dinámica de los eventos. Este enfoque multidisciplinario permitirá avanzar en el entendimiento de las tormentas eléctricas y contribuirá a la mejora de los pronósticos meteorológicos y las estrategias de prevención ante estos fenómenos extremos.

## 1. Introducción

### 1.1. Antecedentes

Las tormentas son fenómenos meteorológicos intensos que generan rayos, fuertes precipitaciones, ráfagas de viento y, en ocasiones, tornados. Aunque representan un peligro considerable para la seguridad humana y la infraestructura, también han motivado el desarrollo de mitos y símbolos en diversas culturas. Estos mitos simbolizaban una búsqueda de respuestas y una fascinación por los fenómenos naturales que, en el momento, no podían explicarse de otro modo, iniciando lo que será la ciencia en el futuro.

Este proyecto de investigación se enmarca en el ámbito de la Física Atmosférica y Medioambiental, pues se centra en los fenómenos de formación de tormentas y descargas eléctricas en la atmósfera. La Termodinámica y la Mecánica Atmosférica son fundamentales, ya que la temperatura, presión y circulación del aire son factores clave en la generación y evolución de tormentas. Sin embargo, al profundizar en los procesos físicos específicos que explican las descargas eléctricas, encontramos una conexión importante con el Electromagnetismo y la Física de la Materia Condensada.

---

\*Bajo la supervisión de: Aurelio Hierro Rodríguez y Joaquín González-Nuevo González

Para que se produzca una descarga atmosférica (como un rayo), intervienen mecanismos de ionización, polarización de partículas, generación de campos eléctricos en las nubes y efectos termoelectricos. Estos fenómenos son típicos de los sistemas que estudian las ramas de la Física citadas, como las interacciones entre partículas en fases condensadas y los comportamientos colectivos en sistemas con cargas. Además, la ruptura dieléctrica del aire, necesaria para que se produzca la descarga, se relaciona directamente con el estudio de materiales dieléctricos y su comportamiento bajo intensos campos eléctricos.

## 1.2. Estado del arte y motivación

C.T.R. Wilson y G.C. Simpson fueron pioneros en el estudio de las tormentas eléctricas y las descargas atmosféricas. Sus investigaciones sentaron las bases para los modelos modernos de la carga eléctrica en las nubes. [Wil09]

Wilson, en particular, propuso un modelo dipolar de las tormentas eléctricas, sugiriendo que las nubes de tormenta podrían tener dos regiones de carga opuesta, de forma similar a un dipolo eléctrico, con cargas positivas en la parte superior de la nube y cargas negativas en la parte inferior. Este modelo era fundamental para explicar la formación de rayos como una descarga entre estas regiones de carga opuesta. Además, la teoría de la corona de Wilson propone que los objetos puntiagudos en la superficie terrestre emiten corrientes de iones hacia arriba, llamadas "descargas de corona", bajo nubes cargadas eléctricamente. Estas corrientes de iones ayudan a mantener el campo eléctrico global al equilibrar la carga negativa de la Tierra con la atmósfera.[Wil09]

Simpson, por su parte, también apoyó la idea de un modelo dipolar. Sin embargo, en su modelo, la carga negativa se concentraba en la parte superior de la nube y la carga positiva en la parte superior. A lo largo de sus investigaciones, desarrolló la teoría de ruptura de gotas, la cual sostiene que cuando las gotas grandes de agua en las nubes se rompen, las partículas resultantes se separan con cargas opuestas: las gotas más pequeñas adquieren carga positiva y las más grandes retienen carga negativa. Esta separación de cargas contribuye a la electrificación de las nubes, generando una estructura de carga que puede desencadenar rayos. [Wil09]

Hoy en día se entiende (hasta cierto punto) la formación de las tormentas y se han descartado las teorías iniciales de ambos autores. Las tormentas son alimentadas por corrientes de aire caliente desde tierra, y dentro de la nube hay una combinación de agua en distintos estados: vapor de agua, cristales de hielo (generalmente con estructura cristalina hexagonal) y agua sobreenfriada que se convertirá en graupel, granizo blando que no tiene una estructura interna definida. [Sau92]

El graupel y los cristales actúan como núcleos de condensación, sin embargo, por su geometría, el área de los cristales es mayor y por tanto se condensa más agua a su alrededor. Ahora interviene el efecto termoelectrico (concretamente efecto Seebeck), que genera una diferencia de potencial entre el extremo de la partícula y su núcleo, ya que el núcleo y la superficie de agua condensada de estas estructuras tienen un gradiente térmico alto, de hasta  $10^{\circ}C$ .

Con esta separación de cargas explicada, el proceso de la separación de dichas cargas se explica de la siguiente manera: se producen choques entre estas partículas, cuando un cristal de hielo y un graupel chocan, el primero le transfiere agua al segundo para equiparar tensiones superficiales, y con este agua, carga eléctrica. Luego, el graupel cae por tener mayor peso, creando una zona negativa en

la base de la nube, y los cristales ascienden por las corrientes de convección, siendo este un modelo sencillo que explicaría relativamente bien la polarización dentro de las nubes de tormenta.

Sin embargo, los resultados experimentales no encajan con las hipótesis del modelo. Los campos eléctricos medidos son 10 veces más pequeños que la fuerza dieléctrica del aire, que es de 3 MV/m a 1 atm. Esta investigación fue llevada a cabo por un grupo de físicos y meteorólogos de universidades americanas. [Pet08]

Esta investigación implica que el modelo está incompleto y se proponen algunas alternativas que no parecen convencer del todo por la dificultad de su observación, que es el principal problema que se plantea en este proyecto. Se discutirán físicamente las teorías propuestas para extraer soluciones.

La solución que más apoyo presenta está relacionada con la acción de los rayos cósmicos (propuesta por A. V. Gurevich [GMRD92]). Mantiene que partículas altamente energéticas de rayos cósmicos pueden generar una ruptura que provoque campos eléctricos más intensos, aunque no está contrastado.

También se propuso que pequeñas gotas de agua se separen con carga opuesta dentro de la gota grande, formando pequeños dipolos dentro de la nube, que en su conjunto creen un campo eléctrico suficiente para la ruptura dieléctrica, aunque en el artículo se menciona que para ello se necesitaría un campo eléctrico de 500 kV/m mientras que se observa uno de 300 kV/m. [Pet08]

Además, hay otras hipótesis alternativas menos aceptadas que involucran fenómenos cuánticos (superradiancia cuántica) o la resonancia electromagnética natural que estudiaremos en el proyecto en profundidad.

## 2. Objetivos

El objetivo ideal sería poder confirmar cual de estas teorías explica realmente los procesos de formación; no obstante, esto es demasiado ambicioso puesto que no contamos con los recursos ni medios necesarios para ello. Sin embargo, si se tratará de averiguar cual de las teorías es la más probable, o alternativamente, proponer otra teoría que lo explique.

De forma secundaria, para alcanzar el objetivo principal, tenemos otros objetivos secundarios:

- Pretendemos medir la carga de una gota de lluvia mediante un procedimiento experimental que se tratará más adelante.
- También queremos conocer el perfil de frecuencias del pulso electromagnético emitido por un rayo.
- Si fuera posible, se intentará hacer espectroscopía del rayo, para estudiar las longitudes de onda emitidas por el plasma.
- Se realizará un modelo computacional de la tormenta, para tratar de estudiar la separación de cargas y la formación del rayo.

### 3. Implementación y metodología

#### 3.1. Paquetes de trabajo

##### WP1: Bibliografía y estado del arte

- T1.1. Introducción a la Microfísica de las tormentas
- T1.2. Introducción al Circuito global
- T1.3. Entendimiento de los procesos de formación atmosférica

##### WP2: Trabajo experimental

- T2.1. Experimento 1: Usaremos un osciloscopio con una antena para ver el perfil de frecuencias del pulso emitido por un rayo en la pantalla de un osciloscopio. Usaremos una transformada de Fourier para pasar del espacio de tiempos, al de frecuencias.
- T2.2. Experimento 2: Montaremos un sistema experimental para determinar la carga de una gota de lluvia para lo que usaremos un condensador y mediremos su deflexión, así como la media de carga por gota de lluvia, para lo que trazaremos las curvas voltimétricas de un volumen de agua de lluvia.

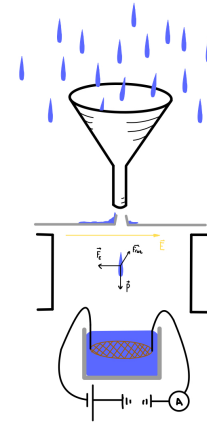


Figura 1: Montaje del experimento 2.

##### WP3: Análisis computacional

- T3.1. Programar un código que simule la formación de la tormenta eléctrica y la separación de cargas dentro de la misma, así como la formación del rayo.

#### 3.2. Hitos

- M2.1. Determinación del perfil de frecuencias de un rayo.
- M2.2.1. Determinación de la carga de cada gota de lluvia de una muestra (si es posible)
- M2.2.2. Determinación de la carga media de una gota de lluvia a partir de un volumen de esta.
- M3.1. Completar el estudio computacional del problema.
- M.0. Completar el Trabajo de Fin de Grado

Se seguirá el diagrama de Gantt de la Fig.2. Este muestra tareas semanales: teóricas (moradas, WP1), experimentales (azules, WP2) y computacionales (rojas, WP3). También incluye metas, como la presentación del proyecto, el póster y la defensa final.

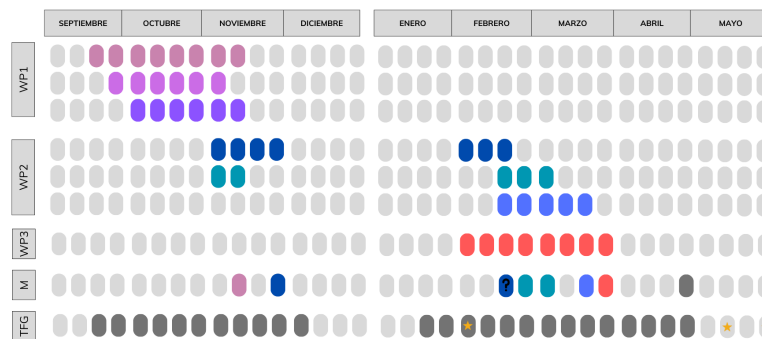


Figura 2: Diagrama de Gantt de SEDA.

Este diagrama es aproximado, ya que para los experimentos necesitamos condiciones atmosféricas concretas, como lluvia y descargas eléctricas.

## 4. Riesgos y alternativas

En esta sección se expondrán los distintos riesgos y se plantearán los planes de contingencia por si se da el caso.

Riesgo	Impacto	Plan de contingencia
Ausencia de tormentas eléctricas	Alto	Usar bobinas Tesla en su lugar
Problemas generales con el dispositivo experimental	Alto	Centrarse en la parte computacional para recrear los experimentos
$\vec{E}$ demasiado alto para ver la deflexión de las gotas en el experimento	Medio	Calcular carga media solamente y recrearlo computacionalmente

Cuadro 1: Posibles riesgos y su impacto, así como potenciales planes de contingencia.

## 5. Impacto

Entender las tormentas eléctricas tiene un impacto significativo en la sociedad, no solo desde el punto de vista científico, sino también en términos prácticos y de seguridad. Las tormentas eléctricas son fenómenos naturales complejos que, cuando no se comprenden adecuadamente, pueden representar riesgos graves para la vida humana, la infraestructura y el medio ambiente.

Conocer los mecanismos que las originan, así como predecir su comportamiento con mayor precisión, permitiría tomar medidas preventivas que reduzcan los daños causados por rayos, inundaciones y vientos fuertes.

Además, la investigación sobre las tormentas eléctricas también puede ayudar a mejorar los sistemas de alerta temprana, proporcionando a las comunidades la información necesaria para protegerse, que puede ser decisivo, como desgraciadamente se vio en Valencia en noviembre de 2024.

## Referencias

- [GMRD92] A. V. Gurevich, G. M. Milikh, and R. Roussel-Dupré. Runaway electron mechanism of air breakdown and preconditioning during a thunderstorm. *University of Mississippi*, 1992.
- [Pet08] D. Petersen. A brief review of the problem of lightning initiation and hypothesis of initial lightning leader formation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D23):D23210, 2008.
- [Sau92] C.P.R Saunders. A review of thunderstorm electrification problem. *Journal of Applied Meteorology*, 1992.
- [Wil09] E.R. Williams. C.t.r. wilson versus g.c. simpson: Fifty years of controversy in atmospheric electricity, 2009.