

LAS TORMENTAS ELÉCTRICAS: UN RIESGO SUBESTIMADO.

Raúl Erlando López y Ronald L. Holle.

Laboratorio Nacional de Tormentas Severas. Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica (NOAA). OKLAHOMA. USA.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se describen la magnitud del riesgo que constituyen las descargas eléctricas de nube a tierra, el hecho y razón de su subestimación, estadísticas (resultantes de estudios en los estados de Colorado y Florida) sobre las situaciones más comunes conducentes a muertes y lesiones, inferencias acerca de la actitud de las personas al riesgo de las descargas eléctricas, y finalmente, una vista general de la nueva tecnología de las redes de detectores de descargas y su uso para aminorar los efectos de este riesgo

EL RIESGO DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS

Cuando hablamos de los desastres naturales producidos por fenómenos meteorológicos, normalmente pensamos en los huracanes, las inundaciones o los tornados. Estas catástrofes generalmente producen grandes pérdidas materiales y de vida en un periodo de tiempo muy corto. Sin embargo, las descargas eléctricas o rayos causan también un gran número de muertes, lesiones, y

pérdidas materiales pero en una forma menos espectacular y distribuidas a lo largo del año. Este es un caso análogo al de los accidentes de aviación, donde pueden morir cientos de personas en un solo accidente, mientras que los accidentes automovilísticos reclaman más vidas en total pero en una forma más uniforme durante el año.

La Tabla 1 (según Weigel, 1976) presenta el número de muertes en los Estados Unidos debido a diversas causas meteorológicas durante el periodo del 1940 al 1973, y el correspondiente promedio anual. Como puede observarse, las muertes causadas por las descargas eléctricas durante ese periodo de 33 años son mucho más que las causadas por tornados, inundaciones y huracanes. Inclusive, las descargas eléctricas causaron más muertes que los tornados y los huracanes *juntos*.

La Tabla 2, según el Servicio Nacional del Tiempo de los Estados Unidos (National Weather Service, 1992) hace un desglose más detallado del número de víctimas del tiempo por diversos factores meteorológicos durante el año 1990. Otra vez se puede apreciar que las descargas eléctricas causaron más muertes que cualquier otro fenómeno meteorológico con excepción de las avenidas repentinas. Las descargas también aparecen como uno de los cuatro fenómenos más importantes responsables

TABLA 1. Muertes en los Estados Unidos debidas a causas meteorológicas del 1940 al 1973.

	Rayos	Tornados	Inundaciones	Huracanes
Total muertes	6928	4474	3075	1825
Muertes por año	204	132	90	54

TABLA 2. Víctimas del tiempo en los Estados Unidos para el 1990, y normales de 20 años.

Factor meteorológico	1990 muertes	1990 lesiones	Normales de 20 años muertes/año
Rayos	74	247	83
Tornados	53	1150	74
Vientos de tormentas	39	571	
Otros vientos fuertes	32	93	
Granizo	0	76	
Avenidas repentinas	109	60] 146
Inundaciones de ríos	33	51	
Huracanes	0	0	16
Fenómenos de invierno	48	499	
Olas de calor	32		

de lesiones durante ese año. Veremos más adelante, sin embargo, que esta cifra de lesiones causadas por los rayos, está muy por debajo de su valor real

Recientemente Mackerras, en el libro de Andrews et al. (1992), ha estimado que el número de muertes debido a descargas eléctricas en todo el mundo es de alrededor de 1000 por año. También ha estimado que el número de lesiones por la misma causa es 2,5 veces mayor que el de las muertes. Estos estimados están basados en estadísticas compiladas para Australia. Estas estadísticas puede que no sean representativas de la mayor parte de la superficie del globo. Aún cuando estos estimados globales de muertes y lesiones de Mackerras son ya bastante considerables, es nuestra opinión que los valores reales son todavía mayores.

En general, podemos decir que las descargas eléctricas constituyen un riesgo mucho mayor que el que a simple vista se le asigna. Es desafortunado que no existan a nivel mundial mejores estadísticas sobre este riesgo y que no haya mejores programas para aumentar el nivel de conocimiento y preparación de la comunidad que lleve a la reducción de este riesgo natural. Tampoco existen programas adecuados para alertar y dar aviso a la ciudadanía de que se avecina o se prevé una situa-

ción de tormentas eléctricas en una determinada región y en un determinado momento.

El propósito de este trabajo consiste en:

- enfatizar la subestimación que existe del riesgo que constituyen las descargas eléctricas,
- subrayar la importancia de tener buenas estadísticas que provean una base para la educación de la comunidad,
- describir una nueva tecnología que pudiera proveer los datos necesarios para desarrollar esquemas de previsión de situaciones de tormentas eléctricas y que permitiera avisar y alertar a la ciudadanía de que una región de actividad eléctrica se está desarrollando cerca o que se avecina, en particular con relación a instalaciones o actividades especialmente sensitivas.

LA SUBESTIMACIÓN DEL RIESGO DE LAS DESCARGAS EN LAS ESTADÍSTICAS OFICIALES

Según hemos podido observar, las estadísticas disponibles en los Estados Unidos ponen al riesgo de las descargas eléctricas por encima de muchos otros riesgos atmosféricos en cuanto a

muerter y lesiones se refiere. Sin embargo, un análisis de la forma en que estas estadísticas se compilan nos deja ver que éstas todavía no nos dan la verdadera magnitud del número de víctimas afectadas por las descargas. Las estadísticas oficiales en los Estados Unidos de los desastres del tiempo se basan en la publicación mensual Storm Data de la NOAA preparada por el Centro Nacional de Datos Climatológicos (NCDC) en Ashville, Carolina del Norte. Esta publicación describe todas las situaciones meteorológicas severas o que causan daños según ocurren cada mes. Esta publicación está disponible desde el 1959. Antes de esa fecha, desde enero del 1950 hasta diciembre del 1958 se publicaba la misma información en el Climatological Data National Summary por la misma organización. La compilación correspondiente a cada estado es la responsabilidad de las oficinas locales del Servicio Nacional del Tiempo en cada estado. Esta compilación, en el caso de los accidentes causados por descargas eléctricas, se realiza principalmente en base a la información que se recibe de un servicio comercial de recortes de periódico que revisa todos los periódicos del estado buscando noticias de accidentes meteorológicos. De manera que el número de accidentes de descargas que aparece mensualmente en Storm Data, y que constituye la base para las estadísticas oficiales, es realmente el número de accidentes que son reportados por los periódicos locales de cada estado.

Obviamente, no todos los accidentes de descargas llegan al conocimiento de los periódicos. Para cuantificar este problema, López et al. (1992) han llevado a cabo un estudio en el estado de Colorado donde se comparan las estadísticas oficiales obtenidas de Storm Data con los registros de certificados de defunción del Departamento de Salud del Estado de Colorado y con los registros de las altas de hospitalización de la Asociación de Hospitales de Colorado. En el primer caso, ésta es una información muy fidedigna, ya que para toda persona que muere en el estado se prepara un certificado de defunción. En adición, los datos de cada certificado contienen la causa subyacente de la muerte y no sólo la causa inmediata. De esta manera se pueden extraer todos los datos de muertes causadas a fin de cuentas por una descarga eléctrica aunque la causa inmediata haya sido, por ejemplo, paro cardíaco o quemaduras. En el caso de las hospitalizaciones, este es un banco de datos compu-

tarizado que también es muy fidedigno y que recoge la información de todas las personas que se dan de alta de cualquier hospital en el estado y que han estado hospitalizadas por lo menos un día. Estos datos, sin embargo, sólo existen desde el 1988.

Al comparar los datos de Storm Data con los datos de los certificados de defunción para un período de 10 años se encontró que Storm Data subestima el número de muertes por alrededor de un 20%. Por otro lado, en el caso de las lesiones, esta publicación sólo reportó el 58% de las víctimas que fueron hospitalizadas por lo menos un día. Sin embargo, Storm Data contenía información acerca de personas lesionadas por las descargas que no aparecían en los registros de altas, es decir, que no fueron hospitalizadas. En adición, se encontraron en los tres principales periódicos de la capital del estado de Colorado otros casos de víctimas lesionadas que no aparecían en Storm Data ni en los registros de altas de hospitalización. Si combinamos los casos de hospitalización de la Asociación de Hospitales de Colorado con los casos no hospitalizados, según reportados por Storm Data y los periódicos, tenemos que Storm Data subestima el número total de víctimas lesionadas en un 30%.

Por otro lado, los datos de bajas de hospitalización contienen sólo el 50% de todos los casos de lesiones de los que se tuvo información, es decir, que sólo la mitad de las víctimas, como máximo, son hospitalizadas.

Un análisis detallado de los casos de víctimas no hospitalizadas reveló que el 82% sufrieron lesiones menores, el 16% moderadas, y el 2% serias. Sin embargo, el 50% de las víctimas hospitalizadas sufrieron lesiones serias, el 42% moderadas, y el 2% menores. Así que aparentemente los casos no hospitalizados corresponden a personas con lesiones generalmente menores que son tratadas en salas de urgencia y dadas de alta, atendidas por paramédicos o personal médico local, o que se recuperan por sí solas, y que por consiguiente no necesitan hospitalización. Es muy posible que una mayor cantidad de personas sean lesionadas levemente como para no necesitar hospitalización y que no son reportadas por los periódicos y por consiguiente no aparecen en Storm Data. En resumen, podemos decir que las estadísticas oficiales derivadas de Storm Data subestiman las muertes por descargas eléctricas en un 20%, los casos de lesio-

TABLA 3. Actividades en el momento en que ocurrieron los accidentes debido a descargas eléctricas en Colorado desde el 1951 hasta el 1987, de acuerdo a *Storm Data*. El número total de incidentes puede ser menor que la suma de las dos columnas de incidentes cuando tanto muertes como lesiones ocurrieron en el mismo evento.

Actividad	Muertes		Lesiones		Total	
	Muertes Incidentes	Lesiones Incidentes	Muertes Incidentes	Lesiones Incidentes	Víctimas Incidentes	Víctimas Incidentes
Golf	5	4	21	10	26	13
Agricultura	14	14	11	7	25	19
Trabajo	5	5	18	9	23	13
De pie	8	7	14	6	22	10
Alpinismo	6	5	16	8	22	9
Otras	23	20	37	24	60	38
Desconocido	27	24	101	59	128	71
Total	88	79	218	123	306	173

nes severas y moderadas en un 42%, y el total de lesiones en por lo menos un 30%.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ACCIDENTES CAUSADOS POR LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS

Para el estado de Colorado (de 3,5 millones de habitantes) hemos analizado todos los incidentes de muertes y lesiones causados por descargas eléctricas para el período comprendido entre enero del 1951 y diciembre del 1987. Esta información se ha estratificado por año, mes, hora del día, condado del estado, actividad que realizaban las víctimas, sitio donde ocurrió la desgracia, sexo, edad, etc

Algunos de los objetivos de este estudio han sido:

- Determinar la magnitud del riesgo de las descargas eléctricas en el estado
- Caracterizar el patrón típico anual y diurno de los accidentes
- Identificar las áreas más afectadas de la región
- Determinar si han habido fluctuaciones o cambios durante esos 37 años en la magnitud de ese riesgo y cómo se asocian esos cambios a tendencias demográficas y ocupacionales en el estado
- Identificar las actividades y situaciones más vulnerables a accidentes

- Determinar si existen diferencias sociológicas tales como sexo y edad en la magnitud del riesgo.

La idea central es de entender los diversos factores y patrones asociados a los accidentes producidos por descargas eléctricas de modo que este conocimiento se pueda usar para desarrollar estrategias de protección y educación de la comunidad.

La Tabla 3 presenta una lista de las cinco actividades más frecuentes en los accidentes de descargas eléctricas. Estas actividades tuvieron 22 o más víctimas durante el período de estudio. La próxima actividad más frecuente tuvo sólo 7 víctimas. Esta y otras de menor frecuencia están englobadas en el renglón de "Otras". Es interesante notar que la actividad donde más lesiones ocurrieron (21) fue la de jugar al Golf, aunque sólo ocurrieron 5 muertes. Los trabajos agrícolas fueron responsables del mayor número de muertes (14) y de un número considerable de lesiones (11). En total de víctimas le siguen los demás trabajos, principalmente, como veremos más adelante, al aire libre. Luego vienen las situaciones donde la víctima estaba parada afuera. Con igual número de víctimas aparece el alpinismo.

Similarmente, la Tabla 4 nos presenta una lista de los cuatro lugares o situaciones más frecuentes en los accidentes de descargas. Estos lugares tuvieron 13 o más víctimas. El próximo lugar más frecuente tuvo sólo 9 víctimas. Otra vez, éste y

TABLA 4. Lugar donde ocurrieron los accidentes debido a descargas eléctricas en Colorado desde el 1951 hasta el 1987, de acuerdo a *Storm Data*. El número total de incidentes puede ser menor que la suma de las dos columnas de incidentes cuando tanto muertes como lesiones ocurrieron en el mismo evento.

Lugar	Muertes		Lesiones		Total	
	Muertes Incidentes	Lesiones Incidentes	Muertes Incidentes	Lesiones Incidentes	Víctimas Incidentes	Lesiones Incidentes
Cima de montaña	9	7	22	12	31	16
Debajo de un árbol	13	9	14	10	27	13
Afuera	7	7	15	5	22	11
Lago	5	5	8	6	13	7
Otros	31	29	63	40	94	61
Desconocido	23	22	96	50	119	65
Total	88	79	218	123	306	173

todos los de menor frecuencia están englobados en el renglón de "Otros". El sitio con más víctimas fue la cima de montañas con 22 lesiones y 9 muertes. En segundo lugar quedó "debajo de un árbol" con 14 lesiones y 13 muertes. Esto refleja la tendencia a buscar refugio de la tormenta debajo de un árbol, posiblemente para escapar de la lluvia. Esta es la peor medida que se puede tomar y es responsable del mayor número de muertes en Colorado (13). Luego vienen las situaciones donde la víctima estaba afuera al aire libre tanto en situaciones de trabajo como de deporte. En próximo lugar, pero con bastante menos víctimas (13) aparecen los lagos.

En general se puede observar que las situaciones más vulnerables a accidentes de descargas eléctricas son aquellas donde la persona está a campo abierto, especialmente en el caso de deportes como el golf, alpinismo, y acuáticos, y en el caso de los trabajos agrícolas. Particularmente vulnerables a morir están aquellas personas que buscan refugio de la tormenta debajo de un árbol, o que están paradas a campo abierto o en la parte alta de una montaña. Todas estas son situaciones donde la persona es el objeto más alto en la región o están cerca o debajo de objetos altos tales como los árboles.

LA REACCIÓN DE LAS PERSONAS AL RIESGO DE LAS DESCARGAS

Holle et al (1992) han realizado un estudio en la parte central de la Florida basado en un con-

junto de datos de descargas eléctricas a tierra colectados durante un período de 8 años. Estos datos fueron obtenidos por un sistema de detección de descargas a tierra de tres detectores de dirección del tipo descrito en la próxima sección. Durante este período ocurrieron 90 casos de muertes y lesiones y 43 de daños a la propiedad, según reportados en la publicación *Storm Data* de la NOAA. Para estos casos se desarrollaron estadísticas similares a las de Colorado, descritas anteriormente, con relación a la actividad que realizaban las víctimas, a la localidad y situación en que se encontraban, y a las características meteorológicas del tiempo en el momento en que ocurrieron las desgracias. En adición, se estudió la relación de los eventos con el ciclo de vida de las tormentas y con la frecuencia de las descargas eléctricas registradas por la red de detección.

Para estos dos últimos estudios se prepararon unos mapas y series de tiempo de las descargas a tierra detectadas por la red en un área de 32 Km por 32 Km centrada en la localización de cada uno de los accidentes reportados en *Storm Data*. Esta escala se seleccionó porque se considera que el alcance audible de los truenos es como de 16 Km (10 millas). Se prepararon 5 mapas, de 2 horas hasta 1 hora antes del evento, de 1 hora hasta el momento del accidente, de ese momento hasta 1 hora después, de 1 hora hasta 2 horas después, y todas las cuatro horas juntas. Las series de tiempo se prepararon usando las descargas que ocurrieron en la misma área cada 5 minutos.

La Tabla 5 (procedente de dicho trabajo) nos indica la distribución de los accidentes (muertes

TABLA 5. Distribución de los casos de *Storm Data* con relación al momento de máxima actividad de descargas registradas en la vecindad del incidente.

	Antes	Durante	Después
	Máximo		
Accidentes			
Casos	12	6	16
Por ciento	35	18	47
Daños a la propiedad			
Casos	8	7	11
Por ciento	31	27	42

o lesiones) con relación al momento de máxima actividad de descargas eléctricas en la vecindad del incidente. Como es de notar, el mayor número de accidentes ocurrió antes y después de la máxima actividad (35% y 47%) comparado con sólo 18% durante el momento de mayor actividad. En el caso de daño a la propiedad, los porcentos están mucho más uniformemente distribuidos con relación al momento de la máxima (31%, 27%, y 42%).

La Tabla 6 presenta la estratificación de los casos con relación al número de descargas detectadas en el área de 32 Km por 32 Km alrededor de la localización del incidente en el intervalo de una hora antes y una hora después de ocurrir el mismo. "Pocas" corresponde a menos de 30 descargas (menos de una cada cuatro minutos), "frecuentes" corresponde a de 31 a 100 descargas, y "muy frecuentes" a más de 100. Es de notar que más accidentes tienden a ocurrir durante tormentas con pocas descargas que con muchas, mientras que los casos de daño a la propiedad están mucho más uniformemente distribuidos.

Aunque estos resultados preliminares están basados en un número pequeño de casos, este primer intento de relacionar los accidentes con las descargas observadas con las redes de detección es muy prometedor. Si estos resultados se verifican con un mayor número de casos y en otras regiones, tenemos un atisbo al comportamiento humano frente al riesgo de las descargas. La mayor parte de las personas buscan protección cuando las tormentas son muy intensas o están en su máxima actividad. Sin embargo toman riesgos indebidos con tormentas débiles o al comienzo y al final de la activi-

TABLA 6. Localización de los casos de *Storm Data* relativos a la cantidad de descargas eléctricas registradas en la vecindad (alcance audible) y alrededor del momento (dentro de una hora) del incidente.

	Casos	Por ciento
Accidentes		
Pocas descargas	13	41
Descargas frecuentes	11	34
Descargas muy frecuentes	8	25
Daños a la propiedad		
Pocas descargas	9	38
Descargas frecuentes	8	33
Descargas muy frecuentes	7	29

dad eléctrica. Al comienzo porque esperan demasiado hasta que la tormenta está muy cerca, o al final porque no esperan lo suficiente hasta que la actividad eléctrica haya cesado.

NUEVA TECNOLOGÍA PARA AMINORAR EL RIESGO DE LAS DESCARGAS

a. Los sistemas de detección de descargas eléctricas a tierra

Uno de los principales adelantos observacionales de la última década ha sido el desarrollo de sistemas para detectar y ubicar las descargas eléctricas de nube a tierra mediante redes de detectores de dirección. Estos sistemas han sido descritos por Krider *et al.* (1976, 1980).

Básicamente, los detectores consisten de un sistema de banda ancha de dos antenas ortogonales de cuadro (magnéticas), y otra en forma de placa horizontal (eléctrica). El campo magnético de una descarga eléctrica produce una señal en el circuito de cada una de las antenas de cuadro que es proporcional a la intensidad del campo y al coseno del ángulo entre el plano de la antena y la dirección del campo. Del cociente de las señales de las dos antenas se determina la dirección en que ocurrió la descarga.

El sistema rechaza las descargas de nube (dentro de la nube o entre diferentes nubes) y el ruido electromagnético ambiental al comparar la forma de onda del campo magnético de estas seña-

les con las formas de onda típicas de las descargas de nube a tierra (NT). La localización del punto de contacto del rayo con la tierra (en vez de alguna posición elevada a lo largo, o en una de las ramas, del canal de la descarga) se determina al usar el cociente de las corrientes inducidas por el campo de la descarga en el momento del primer pico del campo, que ocurre cuando la onda de corriente de la descarga está como a 100 m del suelo. El sistema también discrimina entre descargas positivas y negativas.

La posición de cada descarga se obtiene por triangulación usando los vectores de dirección simultáneos (dentro de 10 a 20 ms) de las antenas que detectan cada descarga. En el caso de que tres o más antenas detecten una misma descarga, la posición se calcula minimizando simultáneamente el cuadrado de los errores angulares de dirección de todas las antenas que detectaron la descarga. Este procedimiento se ha discutido extensamente en Passi y López (1989) y López y Passi (1991)

b. Aplicaciones operacionales

Una ventaja inmediata de los datos de descargas eléctricas es que se pueden utilizar en tiempo real para detectar la presencia, desarrollo, movimiento, y disipación de tormentas. Usando estaciones de trabajo computarizadas, estos datos se pueden almacenar, redespigar, y animar, proveyendo así una vista continua no sólo de la actividad presente sino de la tendencia de esta actividad durante varias horas antes. La Fig 1 corresponde a la región del mediano oeste de los Estados Unidos durante un periodo de como 9 horas el 18 de junio de 1992. El mapa presenta la acumulación de 44.013 descargas, producidas principalmente por un complejo convectivo de escala media. Nótese que según el complejo se desplazó hacia el noreste, la actividad positiva aumentó mientras que la negativa disminuyó (las descargas positivas están representadas por cruces). Sistemas como estos se pueden utilizar en tiempo real para vigilar y evaluar el riesgo de tormentas eléctricas para una región,

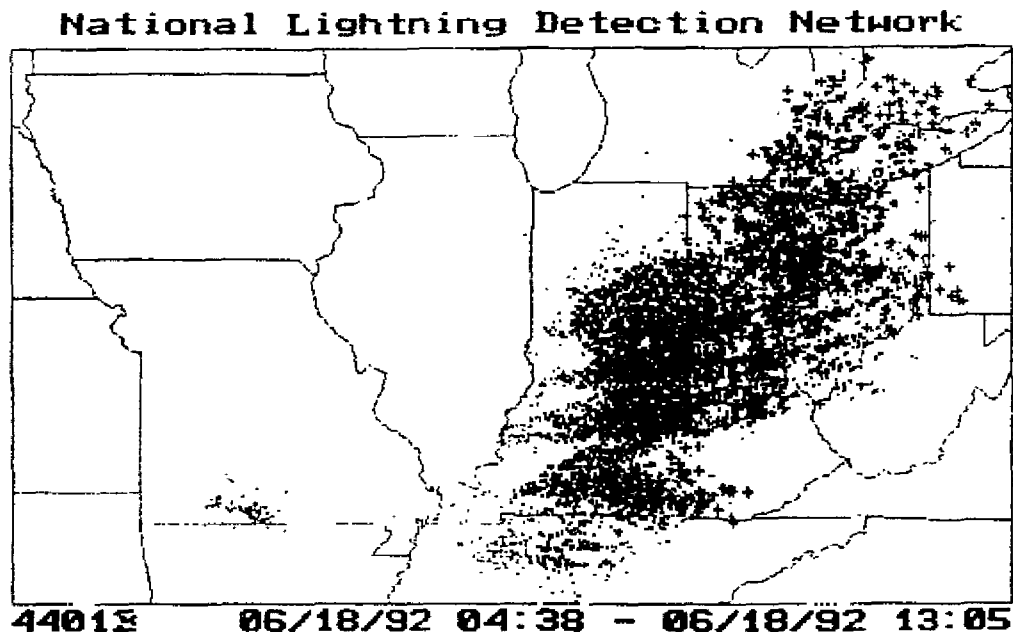


Fig. 1. Mapa del mediano oeste de los Estados Unidos representando la acumulación de 44.013 descargas positivas (cruces) y negativas (puntos) durante el periodo de 0438 a 1305 horas UT el 18 de junio de 1992 .

instalación, u operación sensitiva a las descargas eléctricas tales como centrales o redes de distribución eléctricas, aeropuertos, bosques, centros urbanos, etc.

En el Centro Nacional de Pronosticación de Tormentas Severas de la NOAA (CNPTS), los datos de descargas eléctricas se han estado usando extensamente desde que estos han estado disponibles en forma rutinaria desde el 1988 Mosher (1989) ha concluido que "el CNPTS considera a los datos de descargas como un conjunto de datos mandatorio para la pronosticación de tormentas severas". Los datos de descargas se usan en el CNPTS para determinar, en orden de importancia: (1) La existencia de descargas, (2) la iniciación de la actividad eléctrica, (3) la extensión espacial de las descargas, (4) la configuración, (5) redesarrollo, (6) disipación, (7) movimiento, y (8) intensidad. Estos datos se consultan en el CNPTS principalmente a intervalos de 0 a 15 min, lo que nos indica que éstos suplen información en una escala de tiempo corta que no está muy bien cubierta por las observaciones disponibles al presente, especialmente donde los datos de radar son deficientes o no existentes

c. Estudios climatológicos

Los datos de descargas a tierra proveen una fuente de información relativamente fácil de usar

para realizar estudios de la distribución espacial y temporal de la actividad eléctrica usando series de varios años. En el área del Estado de Colorado representada en la Fig 2, se realizó un estudio para definir cuándo ocurren las tormentas eléctricas en la región (López y Holle, 1986). Por ejemplo, la distribución diurna de la actividad de descargas en la Fig 3 indica la evidente preferencia por tener el máximo de actividad durante la tarde. La figura también demuestra que las primeras tormentas eléctricas ocurren alrededor de las 11 de la mañana, mientras que las últimas descargas pueden ocurrir durante la noche y la madrugada. Usando los datos convencionales de horas de tormentas y su duración reportados por observadores, ha sido posible determinar estos ciclos para sólo unas pocas localidades específicas. Sin embargo, con el uso de los datos derivados de las redes de detectores de descargas a tierra, los resultados de la Fig. 3 se pueden calcular para cualquier período de tiempo y cualquier sitio.

En otra porción del estudio, López y Holle demostraron dónde ocurrieron las descargas en la región de la Fig. 1 durante cada hora del día. Este estudio produjo dos conclusiones particularmente importantes. (1) Las primeras descargas tienden a ocurrir sobre los picos más elevados de las montañas poco antes del medio día; (2) la máxima densidad de descargas durante el día no ocurre sobre los picos más elevados, sino sobre la ladera de las

Fig. 2. Distribución espacial de todas las descargas registradas durante junio, julio y agosto del 1983 sobre el noreste de Colorado de las 1600 a las 1700 horas MST. Los contornos representan la densidad de descargas como porcentos del total de descargas registradas durante todas las horas (104.019). Las regiones sombreadas representan la topografía en intervalos progresivamente más oscurecidos de 1800, 2600, y 3400 m. Las ciudades se identifican con puntos y letras, los picos más altos con "x", y la Divisoria Continental y la Cresta Palmer con líneas de puntos.

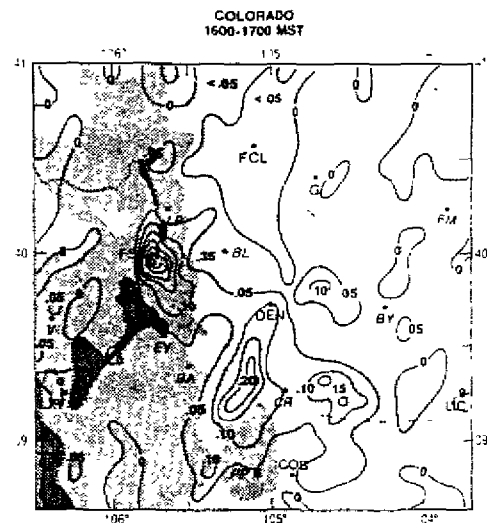
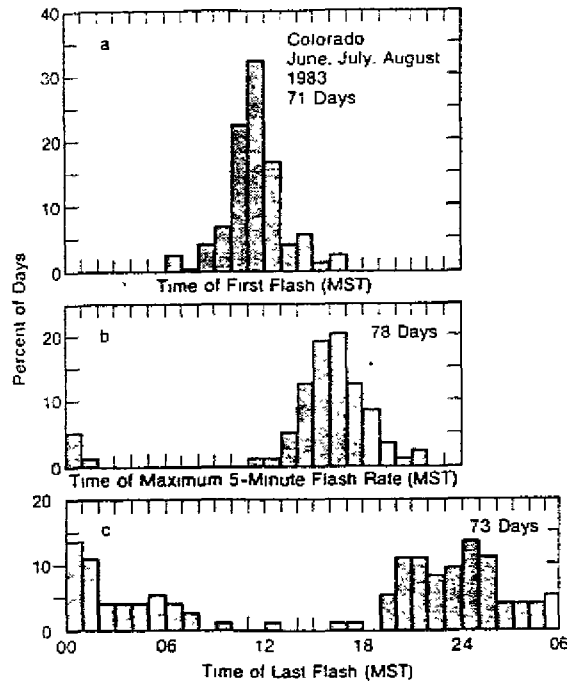


Fig. 3. Por ciento de los días en Colorado con (a) el comienzo (b) máximo y (c) final de la actividad de descargas a diferentes horas del día.



montañas que da al este En la región estudiada del noreste de Colorado, los datos demostraron que crestas mucho más bajas, en adición a los picos más elevados en la región, actúan como barreras bastante efectivas al flujo de niveles bajos generando así corrientes ascendentes que producen tormentas cuando las condiciones de inestabilidad en los niveles altos son adecuadas.

En la zona central de la Florida hemos realizado un estudio climatológico utilizando 8 años de datos de descargas NT Este estudio ha revelado los diferentes patrones de tormentas que resultan de la interacción de las brisas de mar y tierra en esa península con el viento sinóptico prevaleciente. Estos resultados demuestran la importancia de los datos de descargas en el entendimiento de la interacción de circulaciones sinópticas con las circulaciones regionales. Las diferencias tan significativas en estos patrones de la actividad eléctrica de las tormentas nunca antes habían sido ilustradas con una muestra tan extensa de datos con ningún otro sensor. Estos resultados han sido de mucha utilidad a otros investigadores para una mejor conceptualización de la actividad típica de tormentas en esa área, y a pronosticadores operacionales para aplicaciones prácticas en la región.

Climatologías como éstas de la actividad de tormentas eléctricas pueden ser sumamente útiles para la evaluación de este riesgo en una determinada región. Así se puede planificar el desarrollo industrial y urbanístico de la zona, o diseñar sistemas de protección adecuados En adición, conociendo para la región la magnitud del riesgo, su distribución temporal y espacial, y los factores de los que depende, se puede planificar mejor a corto plazo las diversas actividades, educar mejor a la comunidad, y dar avisos y advertencias de peligro en base a predicciones que combinen las condiciones meteorológicas previstas y el escenario de actividad eléctrica que climatológicamente ocurre bajo esas condiciones.

d. Actividad eléctrica y tormentas severas

La capacidad de los datos de descargas a tierra para indicar otros tipos de fenómenos atmosféricos severos se ha comenzado a estudiar. Por ejemplo, hay más descargas de tierra en el noreste del estado de Colorado en los Estados Unidos en los días con fenómenos severos que en días sin ningún otro fenómeno Esto mismo se encontró en la

Florida. Algo intrigante es el resultado de que grandes números de descargas siempre van acompañadas por otros fenómenos severos, pero lo contrario no siempre es así. Según estas relaciones se vayan clarificando, estos resultados se pueden utilizar para proveer pronósticos a corto plazo, o estadísticas para la planificación a largo plazo, no sólo de la actividad eléctrica sino también de los otros riesgos asociados a las tormentas

BIBLIOGRAFÍA

1. Andrews, C.J., M.A. Cooper, M. Darveniza, and D. Mackerras, 1992: *Lightning injuries: Electrical, medical, and legal aspects*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 195 pp
2. Holle, R.L., R.E. López, R. Ortiz, A.I. Watson, D.L. Smith, D.M. Decker, and C.H. Paxton, 1992: Cloud-to-ground lightning related to deaths, injuries, and property damage in central Florida. Proceedings of the 1992 International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity, October 6-8, 1992, Atlantic City, New Jersey, American Meteorological Society, 66-1 to 66-11
3. Krider, E.P., R.C. Noggle, and M.A. Uman, 1976. A gated, wideband magnetic direction finder for lightning return strokes. *J. Appl. Meteor.*, 15, 301-306.
4. Krider, E.P., R.C. Noggle, A.E. Pifer, and D.L. Vance, 1980 Lightning direction finding systems for forest fire detection. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 61, 980-986.
5. López, R.E., and R.M. Passi, 1991: Simulations in site error estimation for direction finders *J. of Geophys. Res.*, 96, 15.287-15.296.
6. López, R.E., and R.L. Holle, 1986. Diurnal and spatial variability of lightning activity in northeastern Colorado and central Florida during the summer. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 1288-1312.
7. Mogil, H.M., and J.L. Campbell, 1980: Update on lightning *Weatherwise*, 33, 36-37.
8. National Weather Service, 1992: A summary of natural hazard deaths for 1990 in the United States. Brochure, 9 pp
9. Passi, R.M., and R.E. López, 1989: A parametric estimation of systematic errors in networks of magnetic direction finders. *J. of Geophys. Res.*, 94, 13.319-13.328.
10. Weigel, E.P., 1976. Lightning: The underrated killer. *NOAA*, 6, number 2.