

La observación de las tormentas eléctricas desde satélite

Francisco Pérez Puebla. AEMET - Madrid

Introducción

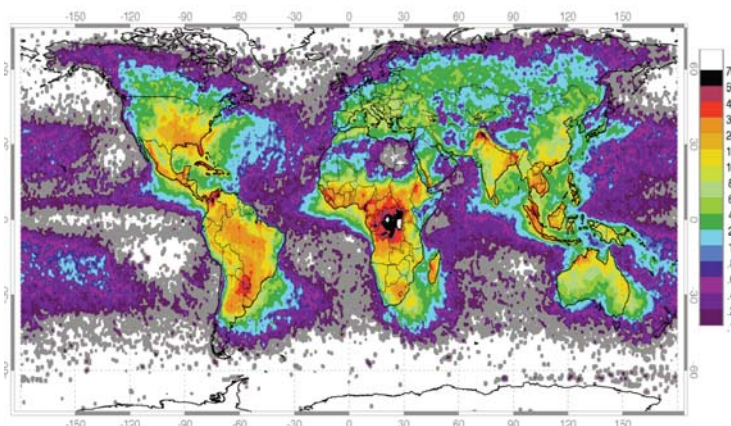
Desde abril de 1995 en que la NASA puso en órbita polar a bordo del satélite MicroLab-1 un sensor óptico (*Optical Transient Detector*, OTD) para captación de los destellos luminosos de las descargas eléctricas procedentes de las tormentas hasta la actualidad se ha producido una observación sistemática que ha puesto de relieve la importancia de la observación eléctrica atmosférica desde satélite. La tercera generación del satélite geoestacionario europeo METEOSAT, cuyo lanzamiento ha sido proyectado por EUMETSAT/ESA para el 2018, dispondrá de un sistema de observación que hereda la experiencia de estos últimos años de exploración en óptica visible desde satélite que se resumen a continuación.

Evolución de la observación eléctrica desde la superficie terrestre

A principios del siglo pasado se habían extendido ya por todo el mundo los sistemas instrumentales para observación de rayos. Se trataba de los denominados contadores cerámicos o contadores de rayos basados en receptores de radiofrecuencia. Ya en 1904 tras la fundación del observatorio geomagnético del Ebro se dispuso en nuestro país del primer artilugio para la detección de los pulsos de radiofrecuencia que emiten las descargas eléctricas.

Desde sus inicios la radiodetección ha ido poco a poco incorporando los avances en la tecnología de electrónica y en los sistemas de comunicación. También se ha clarificado el objeto de estudio gracias a los logros en la investigación sobre la naturaleza y características de las señales electromagnéticas que emiten las descargas. Entre las últimas innovaciones asumidas por la radiodetección se encuentran las recientes técnicas de localización basadas en el popular GPS.

No fue hasta la década de los ochenta cuando algunos servicios meteorológicos desplegaron sistemas basados en la radiogoniometría (triangulación trigonométrica plana) sobre todo en Norteamérica, en Europa y en Japón. En los noventa los sistemas desplegados incorporaban el GPS introduciendo las modernas técnicas de localización temporal y las técnicas basadas en la radiogoniometría mejoraron sus prestaciones reduciendo los errores angulares



Distribución anual promedio de rayos/km². Imagen de la combinación de datos entre el OTD y el LIS correspondiente al periodo abril 1995 – febrero 2003 (ambos inclusive). Fuente: *Global Hydrology and Climate Center* (GHCC) de la NASA. Huntsville, Alabama

gracias a la utilización de la interferometría. La tecnología del último cuarto del siglo XX posibilitaba un seguimiento casi global, sobre todo en las zonas habitadas ocupadas por más del 90% de la población del planeta.

La eficiencia en la detección del fenómeno en los países más avanzados se situó en el 90% de los rayos que llegan al suelo y la precisión en la localización de ese fenómeno se situaba alrededor de los 500 metros en las zonas con mejor cobertura. A pesar de esa progresiva evolución, la exploración obtenida por las redes de radiodetección terrestre no ha sido homogénea debido a las diferencias instrumentales entre los sistemas y al gran contraste de la densidad de estaciones entre continentes ricos y zonas pobres o muy despobladas.

Ahora, en la primera década del siglo XXI algunas redes proporcionan cobertura global y homogénea mediante estaciones de largo alcance. Este es el caso de la red de radiodetección GLD360 financiada por VAISALA. Declaran tener una eficiencia por encima del 70% en todo el planeta y una precisión de alrededor de la decena de kilómetros en el posicionamiento de las descargas. Otras soluciones sufragadas de modo cooperativo como la red WWLLN.net mantenida por medio centenar de instituciones universitarias de todo el mundo proporcionan un servicio gratuito a través de Internet aunque reconocen una pobre eficiencia de alrededor de 30%, bastante alejada de las exigencias de calidad de las redes operantes en cada país.

Sistemas de muestreo eléctrico desde satélites de baja órbita

La observación eléctrica realizada desde satélite con el instrumento OTD a bordo del MicroLab o con LIS (sistema de información de descargas en sus siglas inglesas) transportado por el satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) son meros sistemas de muestreo del fenómeno eléctrico a escala global ya que estas plataformas describen órbitas situadas sobre la superficie terrestre a 735 y 402 Km de altura respectivamente. Los satélites exploran simultáneamente sólo la superficie terrestre que sobrevuelan y no vuelven a hacerlo hasta mucho después. De este modo, el OTD tarda 55 días y el LIS 49 en sobrevolar el mismo lugar.



El satélite TRMM de la NASA escanea los trópicos, tomando imágenes de la precipitación y las descargas eléctricas. Los productos están disponibles en <http://trmm.gsfc.nasa.gov>

Cada imagen de la superficie terrestre captada desde estas órbitas próximas abarca áreas desde 670 x 670 kilómetros hasta unos 1250 x 1250 km. La cobertura de la superficie terrestre tampoco es completa sino que se toman datos de una zona simétrica centrada en el ecuador y que alcanza en el mejor de los casos hasta 70° de latitud (norte y sur) pero que en el caso de la exploración TRMM no llega a los 40°.

El elemento sensible de los diferentes instrumentos de observación es una cámara CCD con una matriz de píxeles de dimensión variable (las del OTD tienen 128 x 128 píxeles) La cámara registra la fase luminosa de las descargas eléctricas lo que para una imagen cuadrada típica de unos 1300 kilómetros significa que la resolución es del orden de unos 10 kilómetros aunque esta varía entre 8 y 20 km en el OTD y entre 4 y 10 para el LIS de acuerdo a su proximidad a la superficie.

Los pulsos luminosos procedentes de las tormentas deben superar un umbral de duración (de 500 a 15 microsegundos según el satélite) para poder ser detectados y su

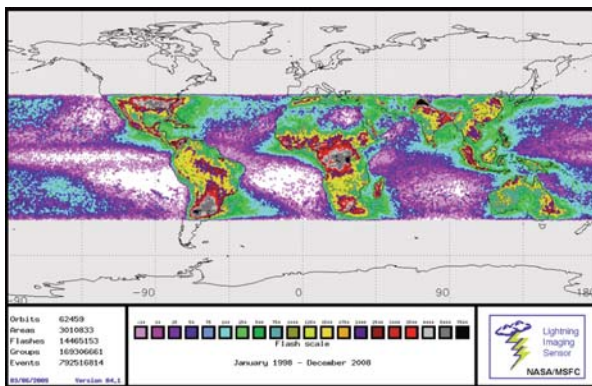


Imagen obtenida de <http://outreach.cos.nasa.gov> donde se muestra la cobertura máxima del sistema de observación de descargas eléctricas LIS del satélite TRMM.

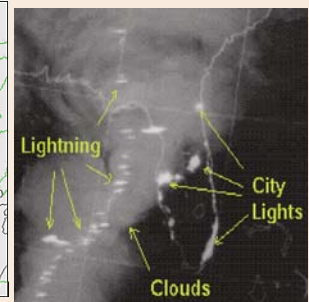
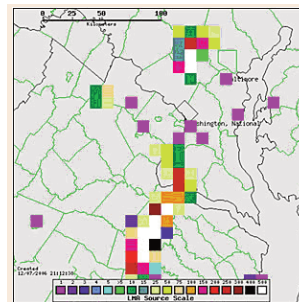
intensidad lumínica también ha de sobrepasar un valor mínimo. Además, para distinguir correctamente las descargas eléctricas atmosféricas de otras emisiones de la luz solar con las que podrían confundirse se utiliza la denominada banda del oxígeno (7774 angstrom) Las emisiones tienen patrones geométricos regulares producidos al iluminarse los elementos nubosos más próximos por el relámpago y la intensidad recibida en esa banda por los CCD tampoco puede superar un valor máximo determinado empíricamente ya que a partir del mismo las emisiones serían características de las reflexiones de la luz solar.



Optical Transient Detector (OTD). Cortesía de la NASA.

Seguimiento continuo desde la órbita geostacionaria

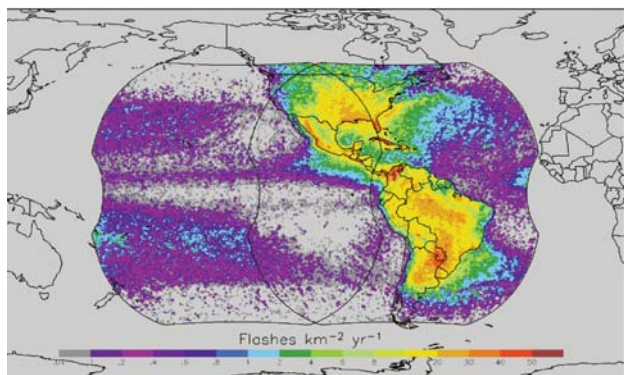
En la actualidad, la eficiencia de las redes con base en tierra operantes en los países más avanzados se acerca ahora al 100% para las descargas que alcanzan el suelo y de intensidades superiores a unos 10 kiloamperios alcanzando una precisión casi del hectómetro en su posicionamiento gracias a la existencia de redes tupidas de estaciones terrestres y al uso de técnicas de cálculo que incorporan las diferencias de conductividad de los suelos para la localización de las descargas.



A la izquierda se muestra el producto obtenido del GOES Lightning Mapper centrado en Sterling, según la oficina del NWS de Virginia a las 21:04 UTC del 07 diciembre de 2006 (<http://www.goes-r.gov/products/images/lightning.jpg>) A la derecha la imagen visible de una zona de tormentas en Florida observada desde el satélite Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) <http://www.electrificationeducation.com/interesting/lightning.htm>

La NOAA maneja ya información de descargas eléctricas proporcionadas por los satélites GOES desde la órbita geostacionaria a 30000 kilómetros sobre la vertical del Ecuador terrestre. Con el sistema GLM, sistema geostacionario de mapeado de rayos del satélite del GOES se hace un seguimiento continuo de la práctica totalidad del hemisferio visible desde cualquiera de los GOES.

La última generación de GOES dispone ahora de cámaras CCD con una matriz de células fotosensibles de 1372 x 1300 píxeles y podrá efectuar un seguimiento de su



Simulación de la cobertura para el sistema GLM (*Geostationary Lightning Mapper*) conjunto del que disponen los satélites GOES E y GOES W de última generación. Cortesía del equipo científico del LIS y la NASA.

campo de visión al ritmo de 500 imágenes/segundo. La zona de cobertura continua se extiende hasta 52° de latitud con una resolución en el punto subsatélite de 8 kilómetros que alcanza un máximo de 14 en las zonas del borde de cobertura. Al igual que los GOES, la tercera generación de METEOSAT dispondrá por primera vez de instrumental a bordo para proporcionar un seguimiento de la actividad

eléctrica con una resolución espacial de unos 10 km. sobre Europa y con una frecuencia de muestreo de la cámara de 1000 imágenes/segundo. Esta será la contribución de la EUMETSAT al incipiente establecimiento de un sistema satelital homogéneo para la cobertura mundial continua que sea capaz de realizar el seguimiento en tiempo real de situaciones meteorológicas extremas.

Hacia el futuro de la vigilancia eléctrica mundial

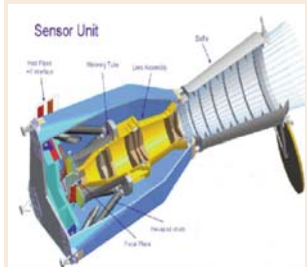
El futuro sistema planetario de observación eléctrica satelital estará dotado en cada satélite geoestacionario operacional de instrumental con tecnología semejante para conservar su punto fuerte respecto a las redes terrestres: la homogeneidad en la exploración. Ahora el sistema GOES lleva el GLM en sus dos últimos satélites (tanto el GOES Este como el situado al Oeste y el de reserva que se situará en una posición intermedia) Europa

pondrá en marcha el suyo con unas características similares a los de EEUU a partir de 2018. La zona explorada continuamente entre los tres abarcará una parte considerable del planeta. Sin embargo, por ahora carecerán de este servicio las zonas de exploración de los satélites geoestacionarios del Índico y de Asia aunque hay planes que indican que China instalará un artilugio semejante de exploración óptica de la actividad eléctrica atmosférica para el final de esta década o principios de la siguiente. Por supuesto, también quedarán fuera de cobertura las zonas polares donde por geometría no es adecuado el seguimiento geoestacionario sino con satélites de órbita baja aunque la frecuencia de descargas eléctricas troposféricas que alcancen lleguen al suelo en los casquetes polares sea mínima.

El principal objetivo de la puesta en marcha de estos sistemas es mejorar los métodos de aviso de las tormentas fuertes o los fenómenos anejos a ellas (granizadas, tornados, reventones descendentes,...etc.) No en vano estos nuevos sistemas conllevan unas exigencias de procesamiento de las señales elevadísimas así como una alta tasa de transferencia de información a las estaciones terrenas (del orden de Gigabytes por segundo) para poner a disposición de los usuarios finales en apenas un minuto el producto final con la localización del rayo sobre la superficie que será la base de la activación de los sistemas de alerta y protección (entre 15 y 30 segundos necesitan las actuales redes de radiodetección desplegadas en la superficie).

La información sobre rayos se considera muy útil para el escudriñamiento y evaluación de la intensidad de los sistemas convectivos y, por supuesto, también de los huracanes. Otro de los objetivos declarados como beneficios indirectos es la posibilidad de reducir las grandes incertidumbres que hoy pesan sobre el balance del equilibrio natural de los óxidos de nitrógeno en la atmósfera de los cuales las descargas eléctricas son una de las principales fuentes generadoras.

Previo al uso operacional de la información de satélite está prevista su validación frente a la observación precisa y detallada que proporcionan las redes terrestres ya que los productos de estas últimas son fácilmente verificables mediante campañas periódicas de evaluación y contraste de la calidad (aunque a día de hoy aún no sea una rutina en todas ellas) En cualquier caso, tanto a escala sinóptica como para mesoescala la información de la totalidad de los fenómenos eléctricos atmosféricos está ganando en popularidad bien sean las descargas al suelo o aquellas otras que no lo alcanzan. En definitiva, la información eléctrica proporcionada por los satélites dejará de ser algo puramente experimental para “vestirse de largo” al aportar su propio valor al mundo de productos de alerta obtenidos hoy en día por las redes de superficie. Por tanto, además de una contribución al conocimiento científico disponemos de un prometedor futuro en las técnicas de protección frente a las tormentas y sus desgraciadas consecuencias.



Detalles del GLM. Abajo, el conjunto óptico que será montado en el GOES (arriba) en la unidad GLM (centro) Cortesía de NOAA-NASA. <http://www.goes-r.gov>