

Medida directa de hidrometeoros mediante fusión de datos de sensores de microondas pasivas (PMW) y de infrarrojo (IR)

F. J. Tapiador, C. Kidd and J. Kidd

Correo electrónico: f.tapiador@bham.ac.uk

Departamento de Geografía. Universidad de Birmingham, Reino Unido

RESUMEN

Este trabajo presenta, en primer lugar, un recorrido por las técnicas disponibles en la actualidad para la medida directa de los hidrometeoros desde plataformas espaciales, en especial la lluvia. Se señalan los hitos más importantes durante los últimos 10 años al respecto, se presentan los satélites disponibles en la actualidad para realizar estas tareas, los programas internacionales existentes y las perspectivas futuras que se empiezan a evaluar para los próximos años. El núcleo del trabajo lo configura la presentación de las aplicaciones. Por otro lado, se hace especial énfasis en las técnicas de fusión de datos utilizadas para mejorar la calidad de los productos, en las aplicaciones prácticas a que da lugar la medida de los hidrometeoros desde el espacio, y a las inevitables limitaciones que presentan estos métodos.

PALABRAS CLAVE: PMW, precipitaciones, fusión de datos.

ABSTRACT

This work presents an overview of the techniques currently available for the direct measurement of hydrometeors from spaceborne platforms, with emphasis on rainfall. The significant interesting milestones over the last 10 years are shown. The available satellites, international programs, and the future prospects which are starting to be evaluated are presented. The core of the paper presents examples of the applications.

Special interest is expressed in the data-fusion techniques used to improve the quality of the results, with practical applications that allow the measurement of hydrometeors from space and in the inevitable limitations that these methods presents.

KEY WORDS: PMW, rainfall, data-fusion.

INTRODUCCIÓN

La utilidad de la medida de los hidrometeoros desde el espacio, hoy en día, no se discute: las redes de pluviómetros no cuentan con la cobertura suficiente (Foster et al, 1984) y aunque existe una amplia red de radares meteorológicos, esta se circunscribe a algunos países desarrollados, quedando amplias zonas del globo sin cobertura (cfr. Schubert et al, 1993). Por otro lado, las aplicaciones a que da lugar esta capacidad de medida de las precipitaciones son abundantes, y van desde los modelos de predicción meteorológica hasta las estimaciones agrarias, de riesgos naturales y forestales (Justice et al, 1985). Así por ejemplo, en la *Tropical Rainfall Measuring Mission*, lanzada en 1997, se considera a la precipitación como una variable meteorológica y climática básica (Marks et al, 2000) mientras que

existen al menos una veintena de proyectos en curso en el marco de la EUMETSAT que versan sobre este particular (Anónimo, 2001).

La medida de los hidrometeoros desde el espacio, en particular de la cantidad de precipitación, empieza a ser estudiada muy pronto (cfr. Griffith, 1978), con los primeros programas espaciales (Tiros-1, 1960). Ya a principios de los años 60 se estimó la posibilidad de su medida para áreas de difícil acceso, utilizándose para ello medidas en el rango VIS e IR, cuyas bases quedaron pronto establecidas (cfr. Barrett, 1970). Sin embargo, los métodos basados en estas longitudes de onda son físicamente indirectos y se basan en medidas de los valores sobre el techo de nubes, que no reflejan con suficiente exactitud lo que acontece debajo (Barrett, 1970). No obstante, pronto se apreció que utilizando técnicas de microondas pasivas, como el ESMR (*Elec-*

trically Scanning Microwave Radiometer, en el Nimbus-5, mediados de los 70), se puede acceder a una medida más directa. El primer sensor data de 1972. Otros proyectos en esta línea, más cercanos en el tiempo, han sido el ESMR-6, el SMMR y el SSM/I, ya plenamente insertados en esta línea de investigación.

El problema de los sensores basados en PMW es su baja resolución espacial y temporal. Por ello, se han desarrollado técnicas mixtas, algunas de las cuales se pueden englobar bajo el término "Fusión de Datos" (cfr. Wald, 1999) que permiten extraer el máximo de información posible de ambos conjuntos, potenciando sus fortalezas. Esta es la línea de investigación seguida hoy en día en algunos proyectos a gran escala, como el *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) o el ya citado *Tropical Rainfall Measurement Mission* (TRMM).

Dentro de la propia medida con PMW se han venido realizando diversos programas para la comparación de algoritmos de cálculo de precipitaciones. Destacar los AIP-1,2,3 (*Algorithm Intercomparason Projects*) y PIP (*Precipitation Intercomparason Projects*) PIP-1, PIP-2 (vs. número 9 monográfico en la *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1998) y PIP-3 (conclusiones en el año 2001). El número de técnicas evaluadas en cada uno, y la importancia de los grupos de investigación involucrados, dan muestra del interés científico de esta línea de investigación y de sus aplicaciones.

TÉCNICAS DE MICROONDAS PASIVAS

La lógica de las técnicas de microondas pasivas se basa en la emisión natural por la superficie terrestre de una radiación en este rango de longitudes de onda. Esta radiación es sensible a los procesos del ciclo hidrológico (Spencer, 1986), y de su análisis se derivan tanto la diferenciación de hidrometeoros como las tasas (Kidd y Barrett, 1990). Así por ejemplo, las nubes que no precipitan son transparentes a la radiación por debajo de los 40 GHz, mientras que las gotas de agua no lo son. La polarización que manifiesta la radiación también es relevante para la diferenciación (Kidd, 1988), ya que depende de la emisividad de la superficie y los procesos que originan las precipitaciones difieren

según el sustrato. Se puede acceder también a información sobre el tamaño del hidrometeoro (Prabhakara et al, 1992), su fase (Wilheit et al, 1994), la densidad y el espesor de la capa de agua precipitable (Alnutt, 1989). Señalar que debido a los efectos en la polarización, los algoritmos sobre los océanos y sobre las tierras emergidas suelen diferir, aunque se hayan desarrollado técnicas ambivalentes (Kidd y Barrett, 1990). La descripción de la lógica de estos métodos excede los límites de este trabajo, por lo que se remite al lector a las referencias dadas.

El sensor SSM/I (Special Sensor Microwave Imager) a bordo de los satélites del *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP) proporcionan desde 1987 datos en 19 y 86 GHz, entre otras longitudes de onda. Su resolución espacial se sitúa entre los 15 y los 60 kilómetros dependiendo del canal, y su órbita heliosíncrona sólo permite un máximo de 4 pases diarios (Hollinger, 1990). La medida de los hidrometeoros es directa en esas longitudes de onda, habiendo diferentes algoritmos al respecto, entre los que destacan los basados en temperaturas corregidas polariméricamente (Kidd y Barrett, 1990). Por otro lado, los satélites geoestacionarios existentes proporcionan unas resoluciones espaciales y temporales altas, pero sólo miden parámetros físicos del techo de nubes. La necesidad y la convenciencia de la fusión de datos se hace evidente (cfr. Sorooshian et al, 2000).

TÉCNICAS DE FUSIÓN DE DATOS EN ANÁLISIS Y MONITORIZACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES

Capítulo aparte, por su interés, merecen las técnicas de fusión de datos desarrolladas para combinar las posibilidades de varios sensores y evitar sus limitaciones por separado. Así, por ejemplo, permiten pasar con fiabilidad y control de los errores de resoluciones típicas de 13x15 kilómetros de los SSM/I a la de 1x1 del Meteosat SG (Figura 1). Los métodos de fusión empleados, no siempre con esta denominación, se pueden resumir en cuatro categorías metodológicas.

- I. Técnicas basadas en ajuste de histograma
- II. Técnicas basadas en redes neuronales
- III. Técnicas basadas en modelos físicos
- IV. Otras técnicas

Otras clasificaciones distinguen entre técnicas empírico-estadísticas y técnicas basadas en modelos físicos (cfr. Ebert y Manton, 1998), teniendo en cuenta en esta ocasión su filiación tradicional. La lógica de estos métodos es sencilla. Se trata de obtener un producto que combine las características complementarias de ambos conjuntos de datos. Si, en el caso del dominio visible, contamos con una imagen de alta resolución espacial, pero de baja espectral, y otra que cuenta con varias bandas, pero cuyo IFOV es demasiado amplio, podemos intentar construir una imagen que cuente con

varias bandas –para la discriminación efectiva– y de buena resolución espacial. El caso de la monitorización global de precipitaciones, estos métodos buscan, no sólo mejorar la resolución espacial del satélite que utiliza las microondas, sino inferir precipitaciones más allá de su traza (Figura 2). Diversos trabajos realizados al respecto, como el PERSIANN (Sorooshian et al, 2000) muestran esta posibilidad, con tasas de efectividad del 80% en un primer estadio, lo que supone un avance importante en la monitorización global de precipitaciones, en la que la escasez de datos es la tónica.

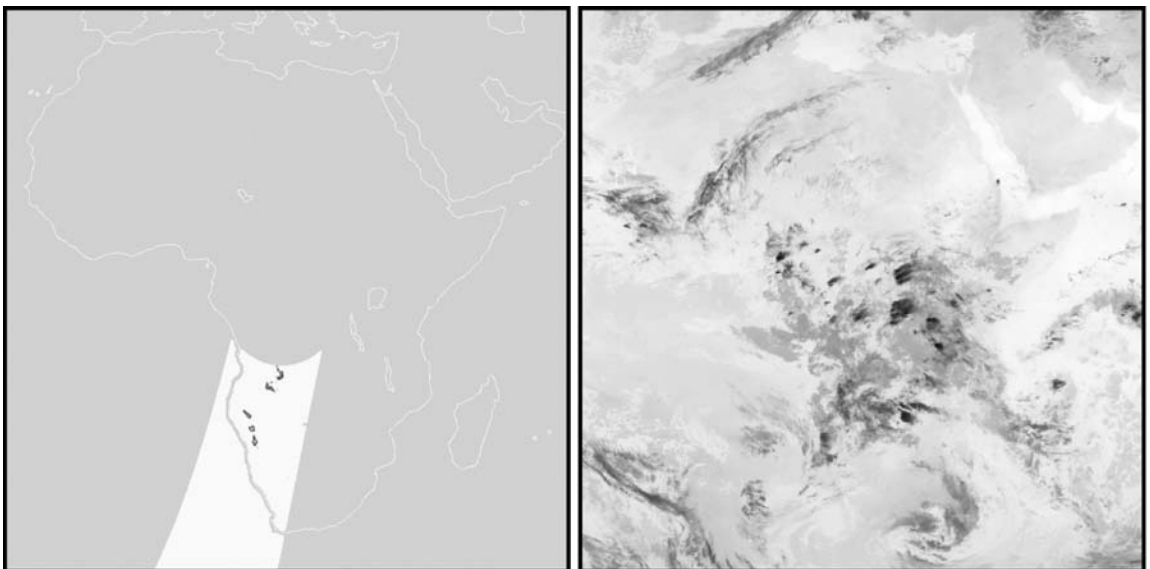


Figura 1. Imagen procesada SSM/I (PMW) procedente de un sólo satélite, e imagen correspondiente IR. 1 de noviembre de 2000, 0430 UTC.

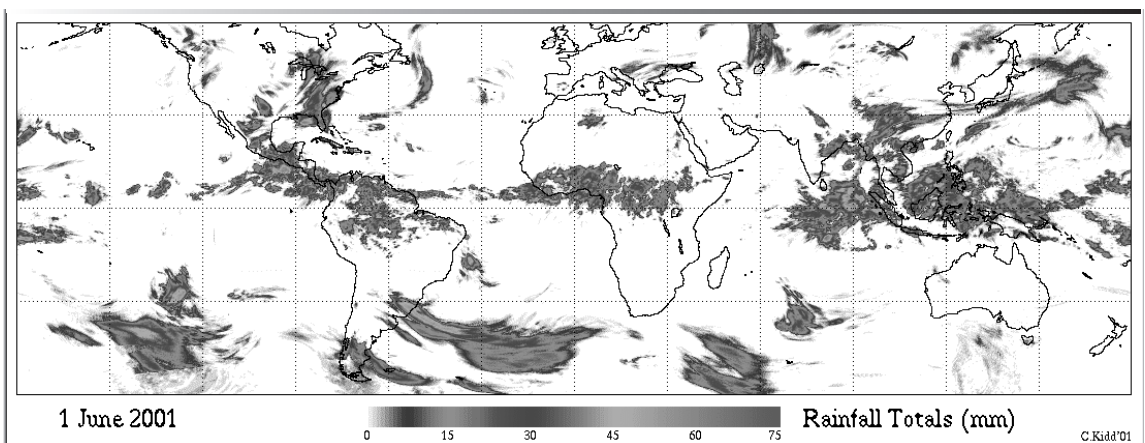


Figura 2. Mapa global de precipitación acumulada

CAPACIDADES Y LIMITACIONES

La utilización de las técnicas pasivas de microondas consituyen una medida física directa de las características de los hidrometeoros, y no de un método de inferencia como los derivados del análisis de la información procedente de sensores en el rango visible e infrarrojo. La resolución espacial de los productos llega a los 1000 metros, gracias a las técnicas de fusión de datos, siendo por tanto igual a la que proporcionan, por ejemplo, los NOAA-AVHRR. No obstante, el AVHRR no aporta medida directa de estas magnitudes, sino todo lo contrario: su mayor hándicap es la cobertura nubosa y su cobertura temporal es de 12 horas. Se puede decir que el AVHRR representa un estadio primigenio en el análisis de las precipitaciones, no un método efectivo de cálculo que pueda ser utilizado fuera del marco de la investigación. Por otro lado, la resolución temporal de las técnicas basadas en microondas pasivas, de 15 minutos, aparece como suficiente para la mayor parte de las aplicaciones previstas, pudiéndose incluso interpolar para periodos más breves.

El mayor escollo con que se encuentran las técnicas de medida de precipitación mediante PMW es la modelización de los fenómenos asociados a sistemas nubosos multicapa. Si bien para precipitación convectiva y orográfica se dispone de métodos fiables, los algoritmos para este caso se están aún perfeccionando, aunque se pueden ofrecer resultados con un margen de error menor que el que proporcionan las interpolaciones sobre datos de tierra. En otro orden de cosas, la diferenciación zonal de las precipitaciones sobre la superficie terrestre es un elemento a tener en cuenta. Influye de manera directa sobre los umbrales utilizados. En el caso británico, por ejemplo, con un 50% de las precipitaciones que reciben las islas (en cantidad) por debajo de 50 mm., la necesidad de precisión se hace notoria. Otro caso diferente es el de las zonas tropicales, con patrones muy diferentes, en los que la intensidad horaria juega un papel determinante.

A pesar de las limitaciones señaladas, diversos informes (como los ya citados AIPs) abogan por esta dirección de investigación para el futuro.

APLICACIONES

Las aplicaciones directas de estas técnicas se pueden dividir en cuatro grupos:

A) Insumos para los modelos numéricos de predicción y evaluación meteorológica (forecasting y nowcasting, respectivamente)

El conocimiento concreto de las cantidad de agua susceptible de convertirse en precipitación, las precipitaciones actuales y la humedad atmosférica es uno de los principales componentes que se utilizan para los modelos de predicción numérica. En concreto, los modelos ECMWF, MRF y NOGAPS, entre otros, los utilizan de manera efectiva. La mejora en la cuantificación de estas magnitudes, en un primer estadio realizada mediante estaciones meteorológicas y la red de sondeos -con las grandes limitaciones que ello conlleva-, es uno de los principales intereses de este tipo de programas. Tratándose además de problemas físicos sensibles a las condiciones iniciales (esto es, caóticos) la mejora de la especificación de las condiciones iniciales, tanto a micro como a macroescala, es fundamental (Figura 3).

Por otro lado, para ciertas aplicaciones, como la aviación, el conocimiento con un grado de fiabilidad aceptable del estado de la atmósfera en un momento determinado (en lo que se refiere a riesgo de engelamiento, principalmente) es otra de las capacidades que se pueden ofrecer. La resolución temporal de estas técnicas, su rango de cálculo no limitado a las horas diurnas, y sobre todo su carácter de medida directa de magnitud física desde el espacio se presenta como uno de sus mayores atractivos. No obstante, subsisten algunos problemas y limitaciones, como hemos visto, que son objeto de investigación en la actualidad.

Mención aparte merecen las aplicaciones en el estudio del cambio climático, en el que la monitorización de series temporales lo más largas posibles son a la vez un indicador del cambio y un medio de evaluación.

B) Aplicaciones agrícolas y forestales

La aplicación más importante desde el punto de vista económico, y por lo tanto de mejora de la calidad de vida de las personas, aparece cuando se aplican los resultados al campo agrícola y forestal. Como es bien sabido, los mapas actuales de precipitación real no son efectivos para las necesidades de agrarias, dada su derivación de los datos pro-

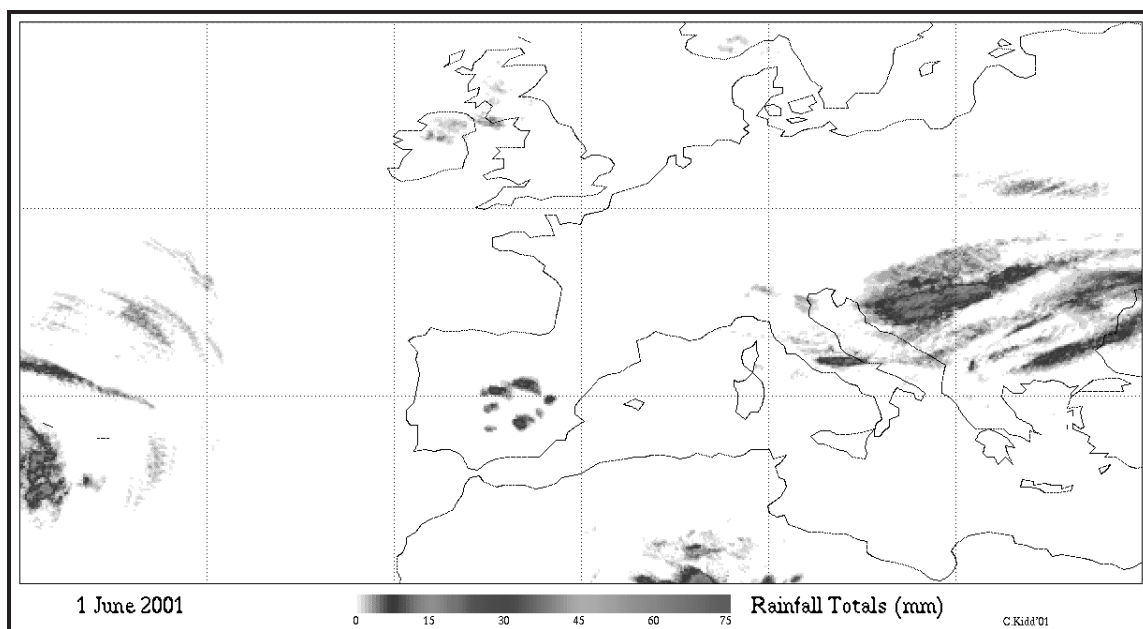


Figura 3. Mapa de precipitación acumulada sobre Europa Meridional

porcionados por las estaciones de medida. La posibilidad de contar con medidas directas tanto de tasas horarias de precipitación como de precipitación acumulada, en un damero kilométrico, es un elemento clave para la estimación de cosechas, para los seguros agrarios, y para, en general, la producción agrícola y ganadera. Esto, ligado al análisis que posibilita el SEVIRI del MSG sobre el estado de los cultivos, lo convierte en un instrumento sumamente beneficioso. La traslación de los cálculos al usuario final, ya sean las agencias estatales o regionales, los grandes productores, las cooperativas agrarias, o incluso el propio agricultor o ganadero, se realizará mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), que, embebidos en la Web, podrán ser consultados desde casi cualquier lugar, con un sistema de acceso aún por determinar.

En lo referente al campo forestal, las capacidades son análogas, si bien en este caso su explotación se circunscribe prácticamente a las administraciones públicas.

C) Aplicaciones sobre los riesgos naturales

Otra de las mejoras es la aplicación a problemas tales como el cálculo de la escorrentía, o las creci-

das de los ríos. Una vez más, el carácter de medida directa, no de inferencia a partir de la radiancia del suelo, permite mejorar las previsiones y la evaluación en tiempo cercano al real. Es el caso, por ejemplo, de los análisis que se están realizando en el Reino Unido, donde la existencia de Modelos Digitales de Elevaciones de precisión centimétrica, unido a estas magnitudes, genera productos relevantes y útiles para las agencias gubernamentales, alejados de otras aproximaciones anteriores peores resoluciones que se han venido demostrando interesantes desde el punto de vista de la investigación, pero poco aplicables. En otros países con un riesgo de erosión y 'desertificación' notable, como los mediterráneos, puede suponer una mejora importante en el campo de la gestión de riesgos naturales.

D) Otras aplicaciones

Este tipo de metodologías permiten obtener tasas de precipitación, pero también evaluar su clase. Las investigaciones realizadas para la determinación de cobertura nivosa se encuentran en fase avanzada (Solberg et al. 1997), mientras que las orientadas a determinar las masas de nieve atmosférica que precipita son objeto de análisis en la actualidad, presentando numerosos problemas al respecto. En el caso del granizo sucede algo similar.

Por último señalar cómo el desarrollo actual de estas técnicas, basadas muchas de ellas en modelos de transferencia radiativa y de nubes, es tal, que se puede concluir que su investigación forma parte de la corriente principal de la ciencia atmosférica, habiéndose integrado como un medio de conocimiento de elementos clave, como los procesos de calor latente tropicales o la circulación general atmosférica (Anónimo, 1998).

PERSPECTIVAS

En primer lugar, cabe mencionar las posibilidades directas que se ofrecerán nada más que el Meteosat SG esté operativo (cfr. Levizzani, 2000). Los productos desarrollados en varios programas hoy en curso, tales como índices globales, en tiempo casi-real y estimaciones para la agricultura (vd. Diarra, 2000), se podrán entonces ofrecer de manera automática a través de la Web, facilitando el acceso de la comunidad científica y de posibles usuarios a los datos. Este interés por seguir desarrollando este campo se encuentra también en las primeras conversaciones del Meteosat Tercera Generación, apenas iniciadas (mayo 2001), en las que la necesidad de cuantificar de manera precisa los hidrometeoros se ha considerado importante.

Por otro lado aparecen las posibilidades que emanan del PGM (Precipitation Global Monitoring), en el que se va a intentar dotar al instrumento de la tecnología apropiada para mejorar aún más las capacidades de cálculo de precipitaciones. La estrategia a seguir aún está por definir, y en ella van a jugar un papel importante los algoritmos de fusión de datos disponibles, ya que las inevitables limitaciones presupuestarias conducen a que la elección entre un sensor y otro se decida en el marco de optimizar los costes en virtud de los algoritmos disponibles.

CONCLUSIONES

La fusión de datos, como conjunto de metodologías, juega un papel importante en la mejora de los datos directos de precipitación proporcionados por los satélites que trabajan pasivamente en el rango de las microondas. La capacidad de éstos de penetrar la cobertura nubosa y su alta

resolución temporal, unido a la alta cobertura espacial y resolución de los satélites geoestacionarios, permite utilizar medidas directas de precipitaciones para generar productos de interés en varios campos. Se trata de un campo de investigación abierto, cuyas técnicas se están desarrollando en la actualidad, y cuyas perspectivas de desarrollo futuro parecen importantes a medio y largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- ANONIMO, 1998. The Second Precipitation Intercomparison Project. Editorial de la Journal of Atmospheric Sciences, nº 9, vol 55.
- ANONIMO, 2001. EUMETSAT General Information. Technical Brochure. EUMETSAT Publications.
- ALLNUTT, J.E. 1989. Satellite-to-ground radiowave propagation. Theory, practice and system impact at frequencies above 1GHz. *IEE Electromagnetic Waves Series* 29. Peter Peregrinus Ltd. Londres.
- BARRETT, E.C. 1970. The estimation of monthly rainfall from satellite data. *Monthly Weather Review*. 98.
- DIARRA, B. 2000. Introduction des données satellitaires dans le suivi de la campagne agricole à Mali. Fourth EUMETSAT User Forum in Africa. ESA.
- EBERT, E.E., MANTON, M.J. 1998. Performance of Satellite Rainfall Estimation Algorithms during TOGA COARE. *Journal of the Atmospheric Sciences* 55(9).
- FOSTER, J.L., HALL, D.K., CHANG, A.T.C., RANGO, A. 1984 An overview of passive microwave research and results. *Reviews of Geophysics and Space Physics* 22(2).
- GRIFFITH, C.G., WOODLEY, W.L., GRUBE, P.G., MARTIN, D.W., STOUT, J., SIKDAR, D.N. 1978. Rain estimation from geosynchronous satellite imagery. Visible and infrared studies. *Monthly Weather Review*, American Meteorological Society.
- HOLLINGER, J.P., 1990: SSM/I Instrument Evaluation. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 28.
- JUSTICE, C.O., TOWNSHEND, J.R.G., HOLBEN, B.N., AND TUCKER, C.J. 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*. 6.

- KIDD, C., BARRETT, E.C. 1990. The use of passive microwave imagery in rainfall monitoring. *Remote Sensing Reviews*. 4(2): 415-450.
- KIDD, C. 1988. *Passive microwave rainfall monitoring over land*. Ph. D. Tesis, Universidad de Bristol, UK.
- LEVIZZANI, V. 2000. Satellite rainfall estimates: a look back and perspectives. The 2000 EUMETSAT Meteorological Satellite Data Users' Conference. ESA.
- MARKS, D.A., KULIE, M.S., ROBINSON, M., SILBERSTEIN, D.S., WOLFF, D.B., FERRIER, B.S., AMITAI, E., FISHER, B., WANG, J., AUGUSTINE, D., THIELE, O. 2000. Climatological processing and product development for the TRMM Ground Validation Program. Physics and Chemistry of the Earth Part B-Hydrology Oceans and Atmosphere: Vol. 25.
- PRABHAKARA, C., G. DALU, J. J. NUCCIARONE, AND G. L. LIBERTI, 1992. Rainfall over Oceans: Remote Sensing from Satellite Microwave Radiometers. *Meteorol. Atmos. Phys.* 47: 177-199.
- SCHUBERT, S., ROOD, R., PFAENDTNER, J. 1993. An assimilated data set for earth science applications. *Bull. Atmos. Meteor. Soc.* 74.
- SOLBERG, R., HILTBRUNNER, D., KOSKINEN, J., GUNERIUSSEN, T., RAUTIAINEN, K., HALLIKAINEN, M. 1997. Snow algorithms and products. Review and recommendations for research and development. Proyecto SnowTools. Research and development of remote sensing methods for snow hydrology.
- SOROOSHIAN, S., HSU, K-L., GAO, X., GUPTA, H.V., IMAM, B., BRAITHWAITE, D. 2000. Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bulletin of the Am. Met. Society*.
- SPENCER, R.W. 1984. Satellite passive microwave rain rate measurements over croplands during Spring, Summer and Fall. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 23: 1553-1563.
- WALD, L. 1999. Some terms of reference in data fusion. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. 37 (3).
- WILHEIT, T. T., R. ADLER, S. AVERY, E. BARRETT, P. BAUER, W. BERG, A. CHANG, J. FERRIDAY, N. GRODY, S. GOODMAN, C. KIDD, D. KNIVETON, C. KUMMEROW, A. MUGNAI, W. OLSON, G. PETTY, A. SHIBATA, E. SMITH, AND R. SPENCER, 1994: Algorithms for the Retrieval of Rainfall from Passive Microwave Measurements. *Reviews of Remote Sensing*. 11: 163-194.

NOTICIAS

NOTA INFORMATIVA SOBRE EL CURSO DE FORMACIÓN DE FORMADORES SOBRE APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN EN LA LUCHA CONTRA LOS INCENDIOS FORESTALES, CELEBRADO EN EL CENTRO DE FORMACIÓN DE LA AECI DE CARTAGENA DE INDIAS (COLOMBIA) DEL 15 AL 19 DE ABRIL DE 2002

Durante el período del 15 al 19 de Abril de 2002 se ha celebrado en el Centro Iberoamericano de Formación que posee la AECI en Cartagena de Indias (Colombia) el curso titulado: "Aplicaciones de la Teledetección en la lucha contra los incendios forestales".

Dicho curso estaba contemplado dentro del programa conjunto de cursos de formación de formadores que tienen establecido el INIA y la AECI para 2002.

El objetivo del curso era presentar las posibilidades que ofrece actualmente la Teledetección espacial como una nueva tecnología en la lucha contra los incendios forestales en el mundo, poniendo especial énfasis en Latinoamérica.

El problema de los incendios forestales en Latinoamérica es especialmente grave pues cada año afecta a varios millones de hectáreas de bosques tropicales. Esto ocasiona dos problemas de extraordinaria importancia a nivel mundial, por una parte se emiten a la atmósfera una fabulosa cantidad de gases de efecto invernadero y por otra se eliminan inmensos sumideros de carbono fijadores de CO₂.

El curso ha estado coordinado por el Dr. Federico González-Alonso, Jefe del Laboratorio de Teledetección del Centro de Investigación Forestal (CIFOR) del INIA y en el mismo han participado como profesores además del Dr. González-Alonso, los Drs:

Guillermo Julio Alvear (Universidad de Chile), José Luis Casanova Roque (Universidad de Valladolid), Abel Calle Montes (Universidad de Valladolid) y Antonio Vázquez de la Cueva (CIFOR-INIA).

Han asistido al curso trece alumnos procedentes de los siguientes países: Méjico, Colombia, Perú, Chile, Argentina, Costa Rica y Guatemala.

El programa del curso constaba de 30 horas lectivas y se puede sintetizar en los temas siguientes: Problemática de los incendios forestales en Latinoamérica, Fundamentos de Teledetección, Cartografía de áreas quemadas, Detección de incendios activos, Seguimiento del estado de la vegetación, Indices de Peligro, Programas futuros.

La motivación y el interés de los alumnos fueron muy elevados y se han sentado las bases para un rápido y eficaz desarrollo futuro de esta tecnología en la región en la lucha contra los incendios forestales y en la conservación de los bosques tropicales de Latinoamérica.

Dr. Federico González Alonso