

PRODUCTOS DERIVADOS DE SATELITES GEOSTACIONARIOS CON IMPACTO POSITIVO EN ENTORNOS PRECONVECTIVOS

M. Velázquez
M.A. Martínez

Servicio de Teledetección. INM

RESUMEN

Los nuevos satélites geoestacionarios (GOES ya operativos y METEOSAT de Segunda Generación (MSG) que se lanzará en el 2002) llevan a bordo radiómetros con mayor resolución espectral en el Infrarrojo, lo que permite derivar estimaciones de estabilidad y agua precipitable. Los productos derivados de GOES tienen una resolución temporal horaria y una resolución espacial de 50x50 km (la resolución del radiómetro es de 10x10 km pero se obtienen en *arrays* promediados de 5x5). Los productos derivados del MSG tendrán una resolución temporal de 15 minutos y una resolución espacial de 3x3 Km. La ventaja más significativa del uso de estos productos frente a medidas tradicionales como radiosondeos es la alta resolución temporal y espacial en la estimación de humedad y estabilidad en entornos pre convectivos. Los productos de estabilidad y agua precipitable derivados de satélite sólo pueden ser calculados en áreas despejadas, por lo que una vez disparada la convección su utilidad desaparece.

1. Introducción

En *nowcasting* es crítico identificar las condiciones potencialmente convectivas, antes de que se desarrolle la convección. Los radiómetros de los que disponen los nuevos satélites geoestacionarios (GOES y MSG) tienen una resolución espectral en el Infrarrojo (IR), que permite derivar estimaciones de estabilidad y agua precipitable.

Los satélites GOES llevan un sondeador, además del instrumento de imágenes, con 18 canales en el IR. Las medidas de este equipo son las que se utilizan en la extracción de parámetros de estabilidad y agua precipitable. El MSG tiene una resolución espectral menor, ya que sólo cuenta con 8 canales en el IR: 13.4 μ m IR, 12.0 μ m IR, 10.8 μ m IR, 9.7 μ m IR, 8.7 μ m IR, 7.3 μ m WV, 6.2 μ m WV y 3.9 μ m IR. El METEOSAT actual sólo tiene un canal IR entre el 12.0 μ m IR y 10.8 μ m IR, y un canal vapor de agua equivalente al 6.2 μ m WV. En la figura 1 puede observarse la diferente resolución espectral que muestran los tres satélites en dos zonas del IR.

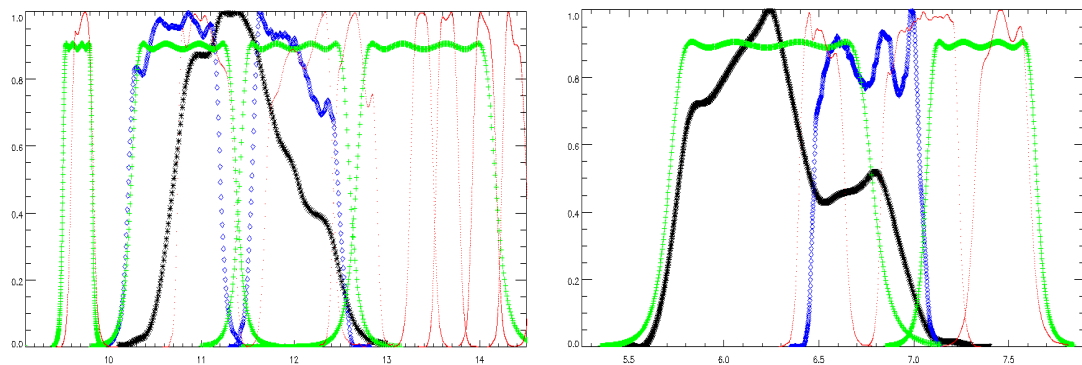


Figura 1: Comparación entre bandas de diferentes satélites: verde (MSG), negro (METEOSAT), rojo (Sondeador del GOES) y azul (Imágenes de GOES).

La estimación cuantitativa de los parámetros usando datos de satélite puede realizarse por dos caminos, un *retrieval* físico, basado en un esquema de inversión, y un *retrieval* estadístico, basado en una aproximación por regresión o redes neuronales. Al utilizar medidas infrarrojas, ambos métodos sólo pueden usarse en condiciones de aire claro. El primer método es el que actualmente está operativo en la extracción de parámetros de agua precipitable e inestabilidad a partir de datos GOES. El segundo, es el

que se está implementando para el paquete de *software* del SAFNWC (*Satellite Application Facility for Nowcasting*). Según la última documentación disponible, el segundo es también el método que utilizarán en el Componente Central de Extracción de Productos de METEOSAT (MPEF) para la obtención del producto del Índice de Inestabilidad Global (GII).

En este trabajo se presenta una descripción de los productos de estabilidad y humedad desarrollados para el nuevo MSG, dentro del proyecto de EUMETSAT SAFNWC, para el soporte de la predicción inmediata y del muy corto plazo. Al no estar aún disponible los datos reales de MSG, hemos seleccionado uno de los dos casos de estudio descritos por Gray y Daniels (1999), para que sirva de ejemplo del uso de parámetros obtenidos con satélite. En los dos casos descritos se evalúa el impacto positivo, durante el periodo de tiempo que precede al comienzo de la convección, de los parámetros de estabilidad y humedad atmosférica derivados de GOES frente a los mismos parámetros obtenidos con modelos numéricos.

2. Productos desarrollados en el SAFNWC

El paquete de *software* del SAFNWC contendrá tres productos de aire claro. El total de agua precipitable (TPW), el agua precipitable por capas (LPW) y un índice de inestabilidad (SAI). La implementación de los algoritmos que generan cada uno de estos productos se está realizando en el Servicio de Teledetección del INM. En este trabajo nos centraremos en dos productos: agua precipitable por capas e índice de estabilidad.

El LPW está constituido por cuatro productos:

- Agua precipitable en capas bajas (BL). Abarca el estrato Presión \in [1013hPa,849 hPa.]
- Agua precipitable en capas medias (ML). Abarca el estrato Presión \in [849 hPa,472 hPa]
- Agua precipitable en capas altas (HL). Abarca el estrato Presión $<$ 472hPa.
- Agua precipitable total (TPW control).

El SAI está constituido por un parámetro:

- *Lifted Index*.

Los criterios utilizados en la selección de las capas del LPW y del índice de inestabilidad, así como la construcción de los algoritmos se encuentran en (Martínez y Velázquez, 2000 y Martínez y otros, 1999).

3. Generación de los futuros productos LPW y SAI con MSG

3.1 Descripción de la metodología

Un *retrieval* estadístico basado en redes neuronales es la base del LPW y del SAI en esta primera versión. El problema real, que concierne a la red neuronal, es obtener un conjunto de entrenamiento adecuado. Este conjunto de datos debe contener un ancho rango de observaciones de las variables de entrada (predictores) y de los valores de salida (predictandos). Al no contar con datos reales y no disponer del canal 8.7 μ m IR en satélites similares, se ha optado por usar radiancias simuladas.

Las radiancias simuladas se obtienen utilizando un modelo de transferencia radiativa, SYNSATRAD (Tjemkes & Schmetz, 1998), que toma como entradas los perfiles de sondeos de la TIGR (Chedin y otros, 1985). La base de datos que se usa como referencia para la construcción del modelo, la constituyen las radiancias simuladas y los diferentes parámetros de aire claro obtenidos directamente desde los perfiles de la TIGR. Los ficheros patrones, con los que se ha realizado el entrenamiento de los algoritmos, constan de las radiancias simuladas de los 7 canales IR de MSG (WV6.2 μ m, WV7.3 μ m, IR8.7 μ m, IR9.7 μ m, IR10.8 μ m, IR12.0 μ m y IR13.4 μ m), seguidas por el parámetro (valor del agua precipitable o del índice de inestabilidad directamente calculado desde los perfiles). El uso de las radiancias del canal IR3.9 μ m ha sido pospuesto debido a que presenta contaminación por reflexión solar (difícil de evaluar correctamente en este momento).

Las redes neuronales implementadas para la obtención de los productos son preceptrones multicapa (MLP), entrenadas usando un método de retropropagación en los errores (*backpropagation*). Estas técnicas son útiles en el análisis no lineal de los procesos atmosféricos. El proceso de diseño, construcción, entrenamiento y aplicación de este tipo de redes se presentó en el IV Simposio Nacional de

Predicción (Martínez y Velázquez, 1996). Detalles de cómo seleccionar la arquitectura de las redes se describen en Pankiewicz y otros (1999).

3.2 Descripción del algoritmo implementado

El modelo que estará disponible en la primera versión de *software* consta de los siguientes pasos:

1. Pre-proceso de radiancias.
2. Corrección del ángulo cenital.
3. Extracción de parámetro de aire claro:
 - 3.1. Sobre mar.
 - 3.2. Sobre tierra.
4. Post-proceso del parámetro de aire claro.

El pre-proceso de las radiancias y el post-proceso de los parámetros de aire claro se realizan mediante un filtrado espacial configurable. Se dispone de dos métodos de filtrado (media o mediana) que se determina en el fichero de configuración. Para cada banda y para cada parámetro se puede configurar el método y el tamaño de la ventana (ninguno, 3x3, 5x5...).

La corrección del ángulo cenital se realiza mediante una red neuronal. Las entradas a esta red son las radiancias normalizadas de los 7 canales IR y el ángulo cenital. Las salidas de la red son las siete radiancias IR normalizadas corregidas a ángulo cenital 45°, una descripción más detallada de este proceso se encuentra en (Martínez y Velázquez, 2001).

Una vez realizada la corrección por ángulo cenital, el algoritmo con el que se obtiene cada parámetro de aire claro depende de donde se encuentra el *pixel* (mar o tierra). Sobre mar se utiliza una red neuronal para cada parámetro que toma como entradas las radiancias corregidas y da como salida cada uno de los parámetros de aire claro. Sobre tierra también se utiliza una red neuronal por cada parámetro pero estas redes tienen como entradas las 7 radiancias corregidas y la altitud del pixel.

3.3 Etapas del desarrollo

En la construcción de los algoritmos se usan perfiles de la TIGR y el modelo de transferencia radiativa SYNSATRAD. Esta base de datos que está constituida por sondeos aislados no sirve para evaluar el comportamiento espacial de la red neuronal. Para poder analizar la respuesta espacial de los algoritmos, utilizamos las radiancias simuladas obtenidas a partir de análisis HIRLAM cuyos perfiles se han usado como entrada al modelo de transferencia radiativa RTTOV (Eyre, 1991).

Las imágenes de la figura 2 extraídas de Martínez y Velázquez (2001), nos muestran los pasos que se han ido dando en la obtención del algoritmo, en este caso para el TPW de control:

- Primero se construyó una red neuronal para cada parámetro usando radiancias simuladas con ángulo cenital fijo a 45° (figura 2b).
- Al validar estos algoritmos sobre radiancias simuladas con el ángulo cenital real en cada pixel (figura 2c). Aparece un déficit de TPW cuando el ángulo cenital del satélite es mayor que 45° y un superávit cuando el ángulo cenital del satélite decrece por debajo de 45°.

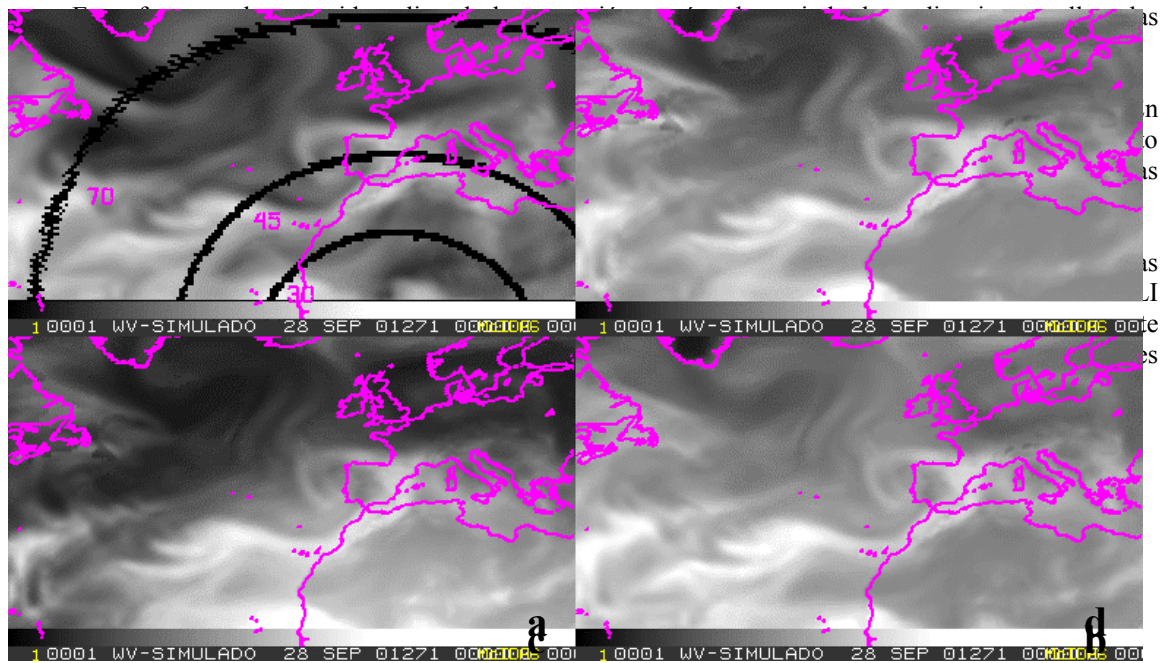


Figura 2: TPW obtenido usando RTTOV en la simulación de las radiancias, a partir del análisis HIRLAM (12Z 22 Sep 2001) y NN_TPW (red neuronal entrenada con radiancias a 45°). (a) TPW obtenido desde el análisis (las líneas oscuras corresponden a $\theta=30^\circ$, $\theta=45^\circ$ y $\theta=70^\circ$). (b) considerando que todos los *pixeles* están a 45°. (c) considerando el valor real del ángulo cenital en cada *pixel*. (d) aplicando el preproceso a las radiancias obtenidas con el ángulo cenital real en cada *pixel*.

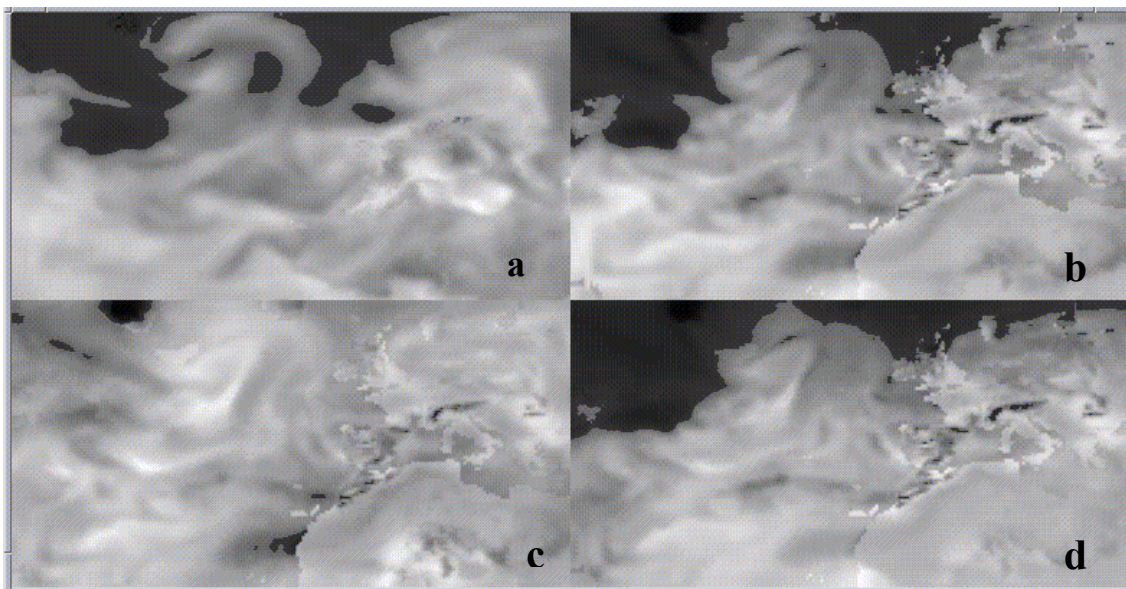


Figura 3: LI obtenido usando RTTOV en la simulación de las radiancias, a partir del análisis HIRLAM (12Z 22 Sep 2001) y NN_LI (red neuronal entrenada con radiancias a 45°). (a) LI obtenido desde el análisis (las líneas oscuras corresponden a $\theta=30^\circ$, $\theta=45^\circ$ y $\theta=70^\circ$). (b) considerando que todos los *pixeles* están a 45°. (c) considerando el valor real del ángulo cenital en cada *pixel*. (d) aplicando el preproceso a las radiancias obtenidas con el ángulo cenital real en cada *pixel*.

La corrección por altitud ha sido también implementada para *pixeles* de tierra, en esta primera versión. El impacto en los productos si esta corrección no se aplica: un aumento en la altitud supondría un aumento en el valor del LI (dando más estabilidad de la que le corresponde), y que tanto el agua precipitable en cada capa como el total serían menores de la que le correspondería.

4. Ejemplo de uso de estos productos derivados de GOES

Los productos de derivados de GOES se extraen mediante un *retrieval* físico, basado en un esquema de inversión (Hayden, 1987). Los perfiles de temperatura y humedad para las áreas del GOES se calculan rutinariamente. Los sondeos obtenidos por este camino tiene una fuerte dependencia del "*first guess*". Cada hora se derivan los índices de estabilidad y se estima el agua precipitable desde los perfiles, con una resolución espacial equivalente a 50 km. Un resumen de los productos obtenidos a partir de GOES se puede encontrar en (Menzel and Purdom, 1994). Los productos derivados del GOES en tiempo real, pueden encontrarse en la página del CIMMS, (<http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/realtime/grtmain.html>).

Para ver cual es la forma más adecuada de utilizar esta información adicional suministrada por el satélite, nos centramos en uno de los dos casos de estudio examinados por Gray y Daniels (1999). El caso seleccionado lo utilizaremos como ejemplo de uso de parámetros de humedad y estabilidad obtenidos desde satélite y modelos numéricos, y del comportamiento de estos durante el periodo que precede a la formación de la convección. Gray y Daniels analizan dos casos de estudio de eventos de tiempo severo el primero en Kansas el 13-14 de julio del 1997 y el segundo en el SE de Texas el 17 de junio de 1997. Hacen un seguimiento de los campos previstos por el modelo y de los obtenidos con GOES para el agua precipitable total y el LI y correlacionan el tiempo severo con dichos campos.

- SE Texas, 17 Junio del 1997

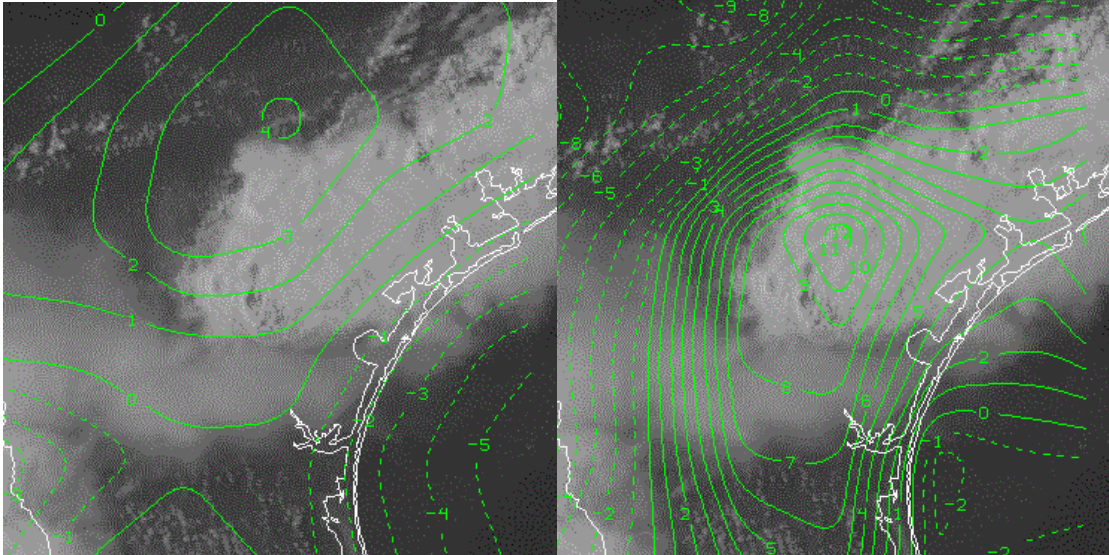


Figura 4: Tendencia del TPW(mm) de 15Z-20Z del 17 de junio del 1997. (a) Previstos por el modelo, (b) Obtenidos con GOES. Mostrados sobre la imagen visible del GOES a las 22Z del 17 de junio del 1997.

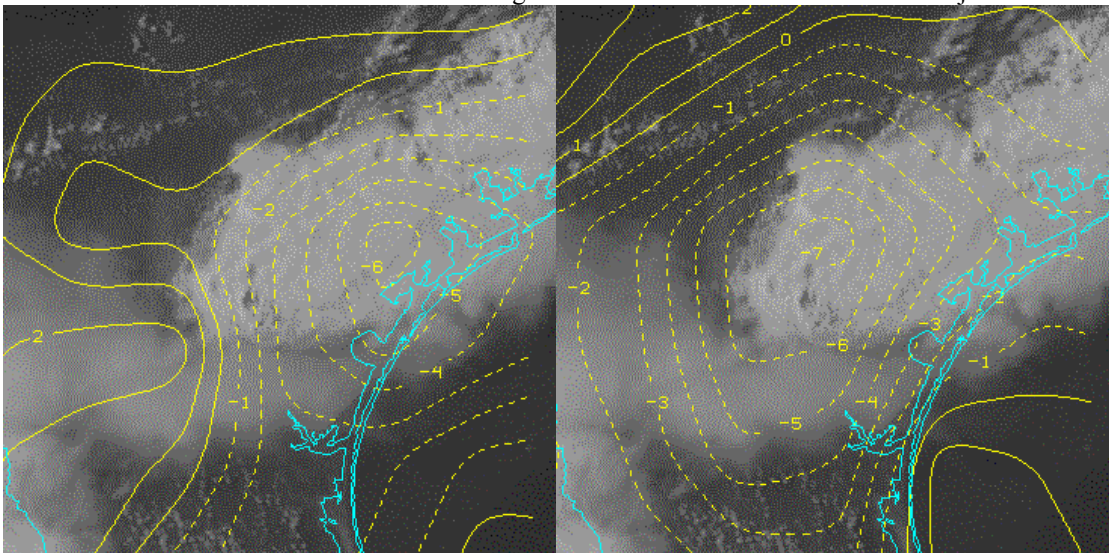


Figura 5: Tendencia del LI($^{\circ}$ C) de 15Z-20Z del 17 de junio del 1997. (a) Previstos por el modelo, (b) Obtenidos con GOES. Mostrados sobre la imagen visible del GOES a las 22Z del 17 de junio del 1997.

Durante la tarde ocurrieron tormentas severas acompañadas de inundaciones y el modelo numérico no predecía precipitación. Los análisis de tendencia temporal de TPW y LI durante las cinco horas previas al desarrollo de la convección (15Z-20Z) son los que fueron marcando donde se iba a producir. Las figuras 4 y 5 muestran la tendencia en las cinco horas anteriores a su aparición y en la imagen visible de GOES, usada como fondo, aparece ya formada. Las tendencias de las cinco horas del TPW y LI obtenidos con GOES correlacionan bien con el desarrollo de las tormentas cerca de Midway (Texas) entre 21Z y 22Z. En la región donde se forma la convección el TPW derivado de GOES aumenta entre 9-12 mm y el LI desciende -7° C. Los campos numéricos dan un incremento de TPW de 4mm y desplazan el máximo al NW (figura 4a), para el LI experimentan un descenso de -6° C pero lo sitúan un poco al este (figura 5a).

5. Conclusiones

Dentro del marco del SAFNWC, se han desarrollados algoritmos para obtener los parámetros de aire claro (LI, TPW, BL, ML y HL) a partir del MSG. El método utilizado es un *retrieval* estadístico, basado en redes neuronales. La corrección por ángulo cenital se realiza en un pre-proceso utilizando una red neuronal. La corrección por altitud se realiza considerando la altitud del *pixel* como parámetro de entrada al algoritmo en los *pixeles* situados sobre tierra. Otras correcciones que mejorarían débilmente el algoritmo (información estacional, emisividad, ...) han sido puestas hasta que estén los datos reales.

El ejemplo mostrado para GOES utiliza 50x50 km, mientras que estos productos para MSG tendrán una resolución de 3x3km. A priori, los beneficios potenciales en el *nowcasting* aumentarán con el MSG, ya que también mejora la resolución temporal (15 minutos). Los productos derivados usados conjuntamente con las imágenes del satélite permiten mejorar los resultados obtenidos con campos previstos de los modelos numéricos, en la localización de condiciones medioambientales potencialmente convectivas.

Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en el SAFNWC. TIGR y SYNSATRAD han sido facilitados por EUMETSAT y RTTOV por el SAFNWP. Agradecemos a F. Martín León su disponibilidad y sus comentarios.

Referencias

- Gray, D. and Daniels, J., 1999: Application of GOES Satellite Sounding in Pre-Convective Environment for Severe Weather Forecasting. (<http://orbit-net.nesdis.noaa.gov/goes/cases/cs1/index.html>)
- Chedin, A., Scott, N.A., Wahiche, C. and Moulinier, P., 1985: The Improved Initialization Inversion Method: A High Resolution Physical Method for Temperature Retrievals from Satellites of the TIROS-N Series. *Journal of Applied Meteorology*, **24**, pp 128-144.
- Eyre, J.R., 1991: A fast radiative transfer model for satellite sounding systems, *ECMWF technical memorandum*, 176.
- Hayden, C. M., 1988: GOES-VAS Simultaneous Temperature-Moisture Retrieval Algorithm. *J. Applied Meteorology*, **27**, 705-733.
- Martínez, M.A. y Velázquez, M., 1996: Técnicas de redes neuronales aplicadas al reconocimiento y clasificación de píxeles de imágenes de satélite. *IV Simposio Nacional de Predicción del INM. Madrid*, 331-338.
- Martínez, M.A. et al., 1999: MSG clear air products development with synthetic data. *Proc. The 1999 EUMETSAT Meteorological Satellite Data User's Conference, Copenhagen, Denmark*.
- Martínez, M.A. and Velázquez, M., 2000: SAFNWC Scientific Report for MTR on PGE07 and PGE08.
- Martínez, M.A. and Velázquez, M., 2001: A new method to correct dependence of MSG IR radiances on satellite zenith angle, using a neural network. *Proc. The 2001 EUMETSAT Meteorological Satellite Data User's Conference, Antalya, Turkey*.
- Menzel, W. P. and J. F. W. Purdom, 1994: Introducing GOES-I: The first of a new generation of Geostationary Operational Environmental Satellites. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **75**, 377-384.
- Pankiewicz, G.S., Martínez, M.A., Fernández, J.M. and Velázquez, M., 1999: An evaluation of the neural networks being used to obtain MSG clear-sky products: TPW, LPW and SAI. *Nowcasting SAF visiting scientist activity, Madrid, Spain*.
- Tjemkes, S.A. and Schmetz, J., 1998: Radiative transfer simulations for the thermal channels of Meteosat Second Generation, *EUMETSAT technical memorandum*.