

TOTAL DE AGUA PRECIPITABLE EN AIRE CLARO A PARTIR DE IMÁGENES TIROS-NOAA

P. Fernández

Servicio de Teledetección. INM

RESUMEN

Dentro del proyecto SAF NWC de obtención de productos de *Nowcasting* para MSG (Meteosat Segunda Generación) se ha desarrollado el producto Total de Agua Precipitable en aire claro a partir de imágenes de satélites actualmente en operación. Los algoritmos se basan en el método *Split-Window* o ventana dividida que permite evaluar el vapor de agua de una columna atmosférica mediante la diferencia entre dos canales infrarrojos situados en la ventana espectral 10-12 μm . Los satélites de la serie TIROS-NOAA diseminan imágenes procedentes del sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) en cinco canales con resolución 1.1 km y del sondeador HIRS (*High-resolution Infra Red Sounder*) en veinte canales y resolución 20 km. Dos de los canales AVHRR se encuentran dentro de la ventana espectral citada y algunos canales HIRS han sido utilizados como datos accesorios. Se presentarán los algoritmos, su validación y algunos ejemplos de este producto para los dos satélites TIROS-NOAA en operación.

1. Introducción

El Total de Agua Precipitable (TPW: *Total Precipitable Water*) es la cantidad de agua líquida en mm si todo el vapor de agua de la atmósfera fuese condensado. Valores altos de agua precipitable son a menudo condiciones que anteceden al desarrollo de precipitación severa. Cuando en estas áreas está presente un mecanismo de ascenso unido a advección cálida en niveles bajos, la probabilidad de precipitación fuerte es elevada. Este producto basado en imágenes de satélite puede proporcionar a los predictores una herramienta relevante para la predicción a muy corto plazo.

La utilización en tiempo real de este producto basado en imágenes de satélites polares tiene grandes limitaciones debido a la separación de unos 100 minutos entre órbitas consecutivas y la escasa periodicidad de barrido sobre la misma zona. Dos satélites de la serie TIROS-NOAA se reciben rutinariamente en el INM, NOAA-14 y NOAA-16. NOAA-16 entró en operación el 20 de Marzo de 2001, ocupando posiciones orbitales cercanas a NOAA-14 (lanzado en Noviembre de 1994). Otro satélite en órbita, NOAA-15 (lanzado en Mayo de 1998) que cubría las órbitas de la mañana y de la tarde (alrededor de las 07:00z y las 18:00z) dejó de recibirse por un fallo en el sensor AVHRR y para cubrir el horario de este satélite NOAA-14 fue derivado lentamente hacia las posiciones orbitales de NOAA-15.

Actualmente sobre la península se reciben una o dos imágenes de NOAA-14 entre las 05:00z y las 07:00z por la mañana y entre las 16:00z y las 18:00z por la tarde. Las órbitas de NOAA-16 cercanas a la península son entre las 01:30z y las 03:30z de madrugada y entre las 13:00z y las 15:00z por la tarde. No obstante la escasa periodicidad el proceso de estos datos para la obtención del producto TPW permite la creación de bases de datos de cara a su validación.

2. Fundamentos

Los algoritmos usados basados en un procedimiento *Split-Window* suponen la baja y media troposfera como una capa extensa a temperatura media T_{air} sobre una superficie a temperatura del suelo T_{sfc} . Los canales AVHRR centrados en 11.0 μm y 12.0 μm se utilizan para evaluar la cantidad de vapor de agua, uno de los canales HIRS centrado en 800 hPa proporciona una buena información acerca de la temperatura media de la troposfera y la temperatura de superficie se obtiene también con un procedimiento *Split-Window*. Se obtienen ligeras mejoras en el comportamiento de los algoritmos añadiendo información de los canales HIRS situados en la banda espectral del vapor de agua.

Se han utilizado dos algoritmos para obtener el campo TPW. Para **tierra** ha demostrado ser más fiable el algoritmo denominado Logaritmo del Cociente (Chesters y otros, 1987), ecuación [1]:

$$TPW = A * \cos \theta * \text{LN} [(T11 - T_{air}) / (T12 - T_{air})] + B \quad [1]$$

Y para **mar** el denominado Diferencias Split-Window (Andersen, 1996), ecuación [2]:

$$TPW = A * \cos \theta * (T11-T12) / (T_{sfc} - T_{air}) + B \quad [2]$$

T11 y **T12** son las temperaturas de brillo de los canales 4 y 5 AVHRR, **Tair** es la temperatura media de la troposfera, **Tsfc** es la temperatura de superficie y **θ** el ángulo cenital del satélite. Los coeficientes han sido determinados por regresión utilizando datos de sondeos (sólo para tierra) y modelos numéricos (para tierra y mar) coincidentes con la imagen. Para evitar problemas de navegación se hizo un promedio de 5x5 pixels alrededor de las coordenadas del sondeo.

Los canales AVHRR y HIRS se encuentran en las Tablas 1 y 2. El procedimiento *Split-Window* o ventana dividida hace uso de la proporcionalidad entre la diferencia de las temperaturas de brillo de dos canales IR cercanos (4 y 5 AVHRR) y la cantidad de vapor de agua de la atmósfera. El canal 6 HIRS da una razonable interpretación de la temperatura media de la troposfera y la temperatura de superficie se obtiene mediante el algoritmo SST (*Sea Surface Temperature*) desarrollado en el INM y que está suficientemente validado.

Canal	Longitud de onda (µm)	Resolución (km)	Aplicaciones
1 (VIS)	0.63	1.1	Nubes
2 (VIS)	0.91	1.1	NDVI. tierra/mar
3 (IR)	3.7	1.1	Nubes de noche, nieblas
4 (IR)	11.0	1.1	SST, nubes
5 (IR)	12.0	1.1	SST, nubes. Vapor agua

Tabla 1: Canales del radiómetro AVHRR

Canal	Longitud de onda (µm)	Gases absorbentes	Nivel del sondeo (hPa)	Uso primario
1	14.95	CO ₂	30	Temperatura
2	14.71	CO ₂	60	Temperatura
3	14.49	CO ₂	100	Temperatura
4	14.22	CO ₂	400	Temperatura
5	13.97	CO ₂	600	Temperatura
6	13.64	CO ₂ ; H ₂ O	800	Temperatura
7	13.35	CO ₂ ; H ₂ O	900	Temperatura
8	11.11	ventana	superficie	Temperatura
9	9.71	O ₃	25	Ozono
10	12.47	H ₂ O	superficie	Vapor de agua
11	7.33	H ₂ O	700	Vapor de agua
12	6.52	H ₂ O	500	Vapor de agua
13	4.57	N ₂ O	1000	Temperatura
14	4.52	N ₂ O	950	Temperatura
15	4.47	CO ₂ ; N ₂ O	700	Temperatura
16	4.45	CO ₂ ; N ₂ O	400	Temperatura
17	4.13	CO ₂	superficie	Temperatura
18	4.00	ventana	superficie	Temperatura
19	3.76	ventana	superficie	Temperatura
20	0.690	ventana	nubes	Nubes de día

Tabla 2: Canales del sondeador HIRS

A estos algoritmos se les puede añadir información de los canales WV 11 y 12 HIRS, lo que proporciona información acerca de la humedad en niveles medios. Los algoritmos quedan entonces de la siguiente manera, ecuaciones [3] y [4]:

Tierra:

$$TPW = A * \cos \theta * LN [(T11 - T_{air}) / (T12 - T_{air})] + C * T_{6.5} + D * T_{7.3} + B \quad [3]$$

Mar:

$$TPW = A * \cos \theta * (T11 - T12) / (T_{sfc} - T_{air}) + C * T_{6.5} + D * T_{7.3} + B \quad [4]$$

3. Descripción del producto

Para obtener imágenes TPW en aire claro a partir de AVHRR+HIRS lo primero que hay que hacer es eliminar los pixels nubosos mediante una máscara de nubes. La Sección de Satélites ha elaborado una máscara nubosa basada en umbrales (Saunders & Kriebel, 1988) de uso general para toda clase de productos derivados de AVHRR. Estas áreas nubosas aparecen en la imagen resultante con el valor del canal 11.0 μm realzado, mientras que los datos TPW se presentan con una escala de 0 a 90 de 5 en 5 mm. Se ha elegido un área de 1600x1600 pixels centrada 40°N y la longitud central de la imagen, ya que dicha área corresponde al producto PW obtenido para cada análisis HIRLAM. Esto permite validar los datos contra HIRLAM, a pesar de que raramente hay coincidencia horaria exacta puesto que las órbitas del satélite son a distintas horas de las sinópticas. Algunos problemas se observan en la generación de las imágenes:

- Las imágenes HIRS presentan bandas sin datos debido a interrupciones en el barrido para tareas de calibración del sensor.
- El canal 3 AVHRR de NOAA-14 es bastante ruidoso lo que da una baja calidad en la máscara de nubes de noche.
- En la recepción de datos AVHRR se producen interferencias frecuentes debidas según creemos a lóbulos laterales de radares situados en las áreas de barrido.
- La navegación de NOAA-16 tenía un error de más de 12 Km por problemas de sincronización en la propia nave hasta Septiembre de 2001.
- Los bordes de nubes en tierra están mal determinados por lo que algunos valores TPW son incorrectos. Lo mismo sucede con algunas nubes bajas en el mar de noche.

Un ejemplo de imágenes TPW se encuentra en la Figura 1 donde se observan las bandas negras de calibración de HIRS, bandas discontinuas de mala calibración de HIRS en NOAA-16 así como el error de navegación también en NOAA-16 y valores incorrectos de TPW en los bordes de las nubes en tierra.

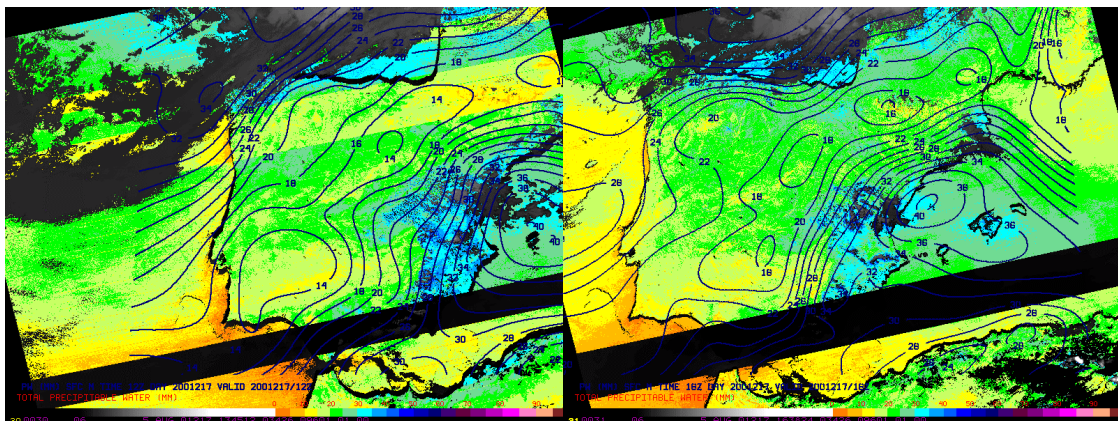


Figura 1: Imágenes TPW del día 5 de Agosto de 2001 para NOAA-16 y NOAA-14 con el campo PW HIRLAM superpuesto.

4. Validación

Dos procedimientos se utilizan para la validación del producto:

- Comparación con radiosondeos sólo válida para datos de tierra: Cada imagen generada se compara con el valor de agua precipitable obtenida de radiosondeo. Para compensar errores de navegación se realiza un promedio de los datos TPW de la imagen sobre 5x5 pixels centrado en las coordenadas de cada radiosondeo. Para que un valor de la imagen sea considerado válido se establecen varios filtros encaminados a perfeccionar la descontaminación nubosa y a eliminar errores gruesos, tales como:
 - a) Los 25 pixels están despejados según los algoritmos de descontaminación nubosa.
 - b) La diferencia entre temperatura y punto de rocío es mayor que 1° en todo el perfil.
 - c) No hay nubes en los SYNOP anterior y posterior a la hora de la imagen.
 - d) Tanto el valor TPW del radiosondeo como el de la imagen están en los límites 0-90mm.
 - e) El índice de vegetación para imágenes diurnas es positivo.
 - f) Los valores espurios de todos los canales son eliminados.
 - g) El ángulo cenital del satélite es menor de 60° para evitar la distorsión de los bordes de la imagen.

Se procesan datos anuales dado que el volumen de datos es bastante escaso y no hay sondeos de España a las 06:00z ni a las 18:00z, aunque sí en áreas cercanas (Portugal, Italia). Los coeficientes utilizados son estacionales lo que se consigue por modulación según la fórmula [5]:

$$X * \cos[\pi * (\text{mes} - 6) / 12] \quad [5]$$

Donde X es un número real.

Los algoritmos utilizados son los correspondientes a las ecuaciones [1] y [2] y los resultados estadísticos figuran en la Tabla 3 y en la Figura 2.

	A día/noche		B día/noche		BIAS	RMS	R
NOAA-14	319,56	529,72	7,38	15,82	1,25	3,52	0,83
NOAA-16	350,54	531,26	4,21	15,29	-0,96	3,45	0,83

Tabla 3: Pendiente, Ordenada en el Origen, Desviación, Error Cuadrático Medio y Coeficiente de Regresión de datos TPW de NOAA-14 y NOAA-16 contra datos TPW observados.

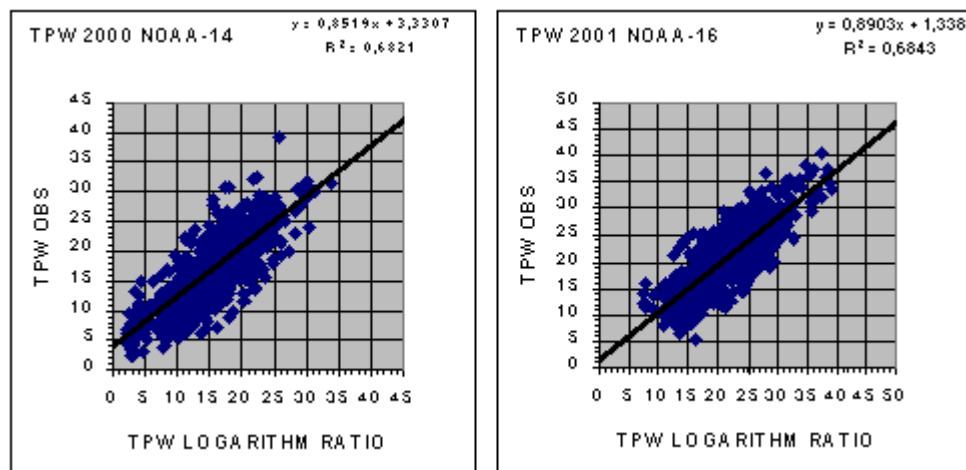


Figura 2: Recta de regresión de datos TPW de NOAA-14 y NOAA-16 contra datos TPW observados.

NOAA-16 entró en operación el 20 de Marzo de 2001 y por lo tanto no hay datos anteriores a esa fecha. Por otra parte NOAA-14 ocupa actualmente posiciones orbitales cercanas a las 06:00z y las 18:00z, horas en las que el número de radiosondeos es sumamente escaso, por lo que no hay resultados significativos para el año 2001.

- Comparación con datos HIRLAM: Se realizan listados de todas las imágenes generadas contra el producto PW de HIRLAM. La hora de las imágenes se aproxima a la hora sinóptica en tres horas. El

volumen de datos es enorme por lo que se procesan cada día. Los resultados de la Tabla 4 corresponden a la imagen de la Figura 3. Como se puede observar, el mar sigue sin estar bien representado, pero la tierra da valores razonables una vez eliminadas las zonas nubosas.

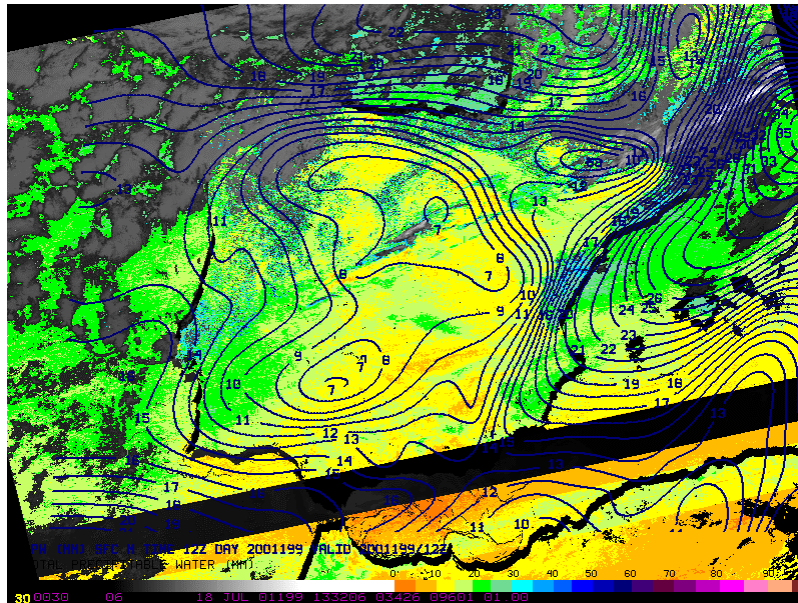


Figura 3: Imagen TPW del día 18 de Julio de 2001 a las 13:32 con el campo PW HIRLAM

	BIAS	RMS	R
TIERRA	1,05	2,86	0,76
MAR	1,56	4,09	0,68

Tabla 4: Desviación, Error Cuadrático Medio y Coeficiente de Regresión de datos TPW de NOAA-16 contra datos PW HIRLAM correspondientes a la imagen anterior.

Las rectas de regresión se encuentran en la Figura 4.

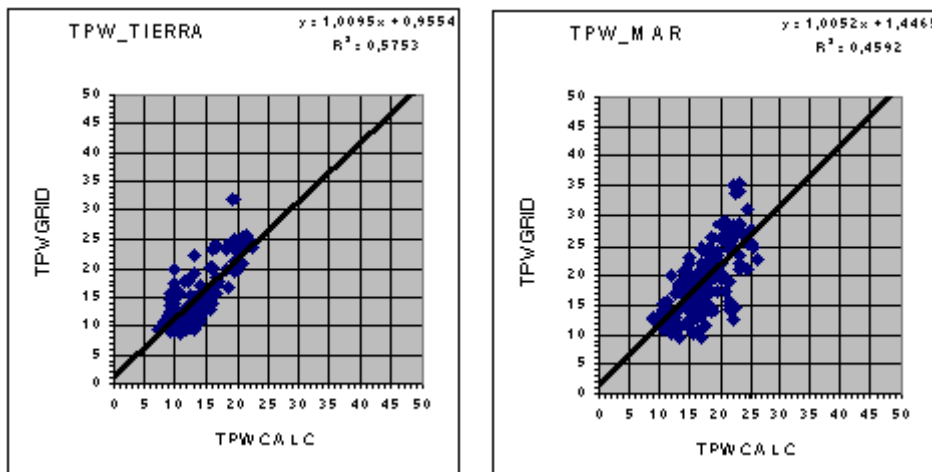


Figura 4: Recta de regresión de datos TPW de NOAA-16 para TIERRA y MAR contra datos PW HIRLAM correspondientes la imagen de la Figura 3

5. Algunos ejemplos.

Desde primeros del año 2000 imágenes TPW a partir de datos de satélites de la serie TIROS-NOAA han sido creadas para la validación del producto. A largo de este periodo se han ido haciendo los ajustes necesarios de cara a la mejora del producto, así como la calibración de los coeficientes de NOAA-16 cuyos datos no existieron hasta Marzo de 2001. A continuación se presenta en la Figura 5 dos imágenes TPW del mismo día para los dos satélites con datos PW HIRLAM superpuestos. Se observa cómo las posiciones relativas de los valores máximos y mínimos de ambos campos coinciden, aunque no en valor absoluto. Los valores en tierra son bastante correctos mientras que en mar queda todavía por hacer el ajuste. Se observan además discontinuidades en forma de bandas que reflejan problemas de calibración en el sensor HIRS de NOAA-16.

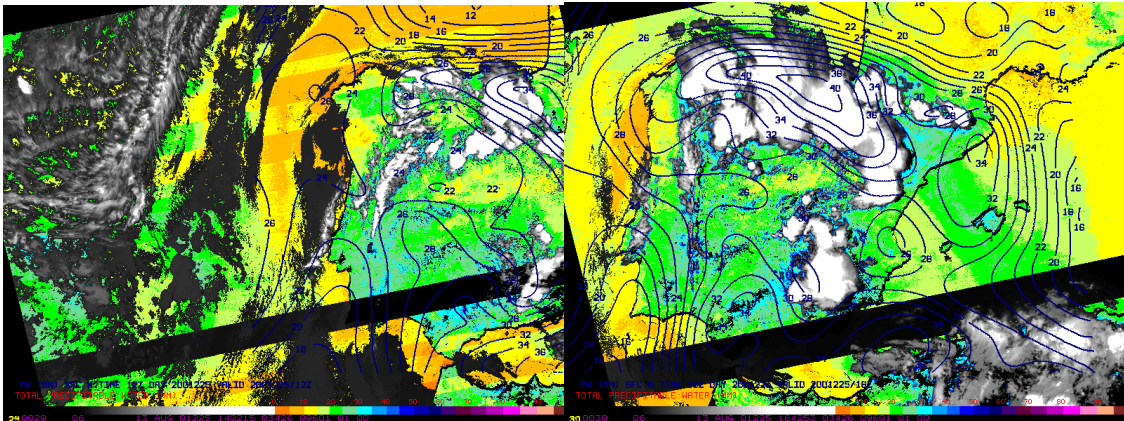


Figura 5: Imágenes TPW del día 13 de Agosto de 2001 para NOAA-16 y NOAA-14 con el campo PW HIRLAM superpuesto.

6. Conclusiones

Este ensayo para la obtención de Total de Agua Precipitable con datos procedentes de los satélites TIROS-NOAA proporciona una herramienta de uso general poco utilizable en tiempo real debido a la escasa periodicidad de las imágenes, extremo que quedará solventado cuando el producto se origine con imágenes MSG (finales de 2002) cuya periodicidad será de 15 min. El producto obtenido está siendo sumamente útil para la validación de los algoritmos de modo que el paso a los nuevos datos proporcionados por MSG permitirá mantener los algoritmos y sólo modificar por regresión los coeficientes.

Los dos procedimientos de validación (datos TPW contra radiosondeos y HIRLAM) permiten afirmar que la calidad de las imágenes creadas es razonable al menos para tierra. Los ejemplos presentan un buen ajuste entre los datos TPW de satélite y el producto PW de HIRLAM. En algunas imágenes se puede observar cómo valores altos de TPW en aire claro son indicio de futuras precipitaciones, aunque debido a la escasez de las imágenes no se ha podido observar tal extremo en los eventos relevantes de esta última estación.

Referencias

- Andersen H.S., 1996: Estimation of precipitable water from NOAA-AVHRR data during the Hapex Sahel experiment, *Int. Rem. Sens.*, Vol.17, No 14, pp. 2783-2801.
- Chesters D., D.R. Wayne and L.W.Uccellini, 1987: Optimized Retrievals of Precipitable Water from the VAS "Split Window", *J. Clim. Appl. Met.* Vol. 26, pp. 1059-1066.
- Saunders R.W. & K.T. Kriebel, 1988: An improved method for detecting Clear Sky and cloudy radiances from AVHRR data. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 9, No 1, pp. 123-150.