

ASIMILACION DE DATOS GPS POR LOS MODELOS DE PREDICCIÓN NUMÉRICA.

J. Sánchez-Arriola, B. Navascués y J.A. García-Moya.

Instituto Nacional de Meteorología

C/Leonardo Prieto Castro 8,

Ciudad Universitaria

28040, Madrid

Tel: 91 5819836

Email: jana.sanchez@inm.es

RESUMEN

Una correcta descripción de las condiciones atmosféricas, y en concreto, de la distribución de vapor de agua, es fundamental para la pericia de las predicciones de los modelos de predicción numérica del tiempo. Uno de los sistemas últimamente utilizados para conocer la humedad de la atmósfera es el sistema GPS (Global Positioning System) ya que los retrasos de la señal recibida por los sensores de tierra (ZTD), dan información directa de esta variable. El INM participa actualmente en el proyecto TOUGH, cuyo objetivo es desarrollar los métodos necesarios para la inclusión de datos de GPS de todas las estaciones europeas disponibles en los modelos numéricos. Se muestran aquí los primeros resultados de la utilización de estos datos por el sistema de "asimilación variacional" del modelo HIRLAM, así como el impacto de los mismos en la calidad de las predicciones en un caso de estudio.

ABSTRACT

The initial atmospheric states, and specially, the distribution of water vapor in the atmosphere, is of crucial importance to the quality of forecast of Numerical Weather Prediction (NWP) models. One of the most recent tools to measure the atmospheric water vapor amount is the GPS (Global Positioning System) that through the signal delay (ZTD) on land stations, it is possible to have information about the integrated water vapor in the column above. INM belongs currently to TOUGH project, which main purpose is to develop methods enabling the use of GPS data from all european GPS stations in NWP models. What this contribution shows are first results of including GPS data on data assimilation system in HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) for a case study and its impact on quality of forecasts.

PALABRAS CLAVE:

Asimilación variacional, HIRLAM, Datos GPS, TOUGH.

KEY WORDS:

Data assimilation, HIRLAM, GPS Data, TOUGH.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la pericia de los modelos numéricos que predicen el tiempo depende de las condiciones iniciales que se le den al modelo y de las técnicas de cálculo que se empleen para hacer evolucionar en el tiempo estas condiciones. Las condiciones iniciales se obtienen a menudo de series históricas de observaciones, o bien de observaciones tomadas poco tiempo antes en estaciones meteorológicas. La calidad de estas observaciones es muy importante, ya que si al modelo se le introducen unos datos iniciales erróneos, dará a partir de ellos una predicción errónea. Por otro lado, como el número de observaciones es siempre menor que el que el modelo necesitaría para tener una información completa, es necesario utilizar unos algoritmos matemáticos para introducir la información (es la asimilación).

Para la determinación de las variables de estado del modelo numérico son necesarias miles de observaciones. Existen observaciones de superficie, con cerca de 10000 estaciones meteorológicas a lo largo de todo el mundo, que realizan medidas cada 3 horas, de parámetros como la presión, temperatura, humedad relativa, y velocidad y dirección del viento. Por otro lado están las observaciones de altura, que son cerca de 900 estaciones con radiosondeos que miden la presión, temperatura y humedad desde el nivel del suelo hasta alturas de 30 Km. Estas medidas se toman dos veces al día, a las 00 y a las 12 horas GMT.. Unas 3000 aeronaves transmiten también información sobre la presión, temperatura y velocidad del viento a lo largo de las rutas por donde pasan. Los satélites polares y geoestacionarios tienen instrumentos para captar la radiación emitida por la atmósfera en diferentes frecuencias, medidas a partir de las cuales es posible derivar otras variables meteorológicas como perfiles verticales de temperatura y humedad en zonas libres de nubes, velocidad y dirección de viento, etc. Otro tipo de observación que está ahora empezando a asimilarse en los modelos numéricos es el retraso de las señales de GPS, pues da información directa de la humedad atmosférica.

En los últimos años, el avance en el desarrollo de los sistemas de posicionamiento global por satélite (GPS) ha abierto una posibilidad de mejora del conocimiento de las condiciones de la atmósfera a tiempo real. En concreto, la medida del retraso de las señales de radio de sistemas de navegación por satélite en la atmósfera, como el GPS, ofrecen al campo de la predicción numérica una oportunidad de mejora de sus condiciones iniciales o de entrada a los modelos debido a que proporcionan una información de la humedad atmosférica, con una cierta fiabilidad, a partir de la red de estaciones de GPS ya existente.

El retraso total de una señal de radio entre el satélite GPS y la estación receptora de tierra depende de la masa atmosférica entre ambas, lo que se traduce en la presión de superficie y la humedad de la columna de aire. Como la presión superficial puede medirse con otros métodos, es la humedad de esa columna lo que se obtiene directamente de la medida del retraso de la señal GPS.

La utilización de datos de GPS, tanto para modelos de predicción numérica del tiempo como para seguimiento e investigación del clima, ha sido objeto de estudio desde hace ya varios años. El primer proyecto de investigación en este

área se llamó COST ACTION 716. A éste le siguió MAGIC (Meteorological Application of GPS Integrated Water Vapour Measurements in the Western Mediterranean). Y en la actualidad, el proyecto europeo que continúa con la asimilación de datos GPS en los modelos numéricos del tiempo es el TOUGH (Targeting Optimal Use of GPS Humidity Measurements in Meteorology).

Las pruebas realizadas en COST716 para junio del 2000, con un área de estudio sobre centro y norte Europa, han mostrado la existencia de un *bias* (error sistemático de observación) muy acusado entre las medidas de GPS tomadas y las predicciones del modelo. Por otro lado, con el MAGIC se vio que las medidas de GPS pueden ser muy sensibles al tipo de situación atmosférica (los resultados salían muy diferentes si dominaba un tipo de situación sinóptica o una convectiva de pequeña escala). En este proyecto, se desarrolló un sistema para validar datos de Vapor de Agua Integrado (IWV) y Retraso Troposférico (ZTD), tanto en post-proceso como en tiempo real.

A lo largo de los últimos diez años se ha estado investigando sobre nuevas técnicas de introducción de las observaciones (asimilación) en los modelos numéricos, basadas sobre todo en técnicas variacionales. La ventaja de estas técnicas es la posibilidad de utilizar observaciones con complicadas relaciones no-lineales entre sí e incorporarlas a los modelos. Así, es posible introducir en un modelo medidas de Retraso Total de la señal de GPS (ZTD) tomadas en distintas estaciones receptoras de tierra situadas en puntos muy dispersos del área a estudio. Las primeras pruebas de asimilación de datos GPS tomadas en estaciones de tierra con esquemas de asimilación variacional de datos, fueron hechas en el NCAR (National Centre for Atmospheric Research), Boulder, USA, por el grupo de Meteorologías a Mesoescala (Kou et al, 1996; de Ponca et al, 2000).

2. EL PROYECTO TOUGH EN EL INM

En el proyecto TOUGH participan los servicios meteorológicos de varios países europeos y su objetivo es desarrollar y refinar las técnicas necesarias para conseguir el uso óptimo de los datos de GPS de toda la red europea de estaciones en los modelos de predicción numérica del tiempo, así como mejorar la pericia de estos modelos con la introducción de estos datos.

Existen siete centros de procesamiento de datos GPS en Europa, la mayoría de los cuales participan también en el proyecto TOUGH: ACRI-ST en Francia, CHAL en Suecia, NMA en Noruega, ASI en Italia, IEEC en España, LPT en Suiza y GOP en Europa central, y todos ellos proporcionan datos de estaciones receptoras de GPS sobre todo el área europeo en tiempo real.

En España, los datos GPS de estaciones pertenecientes a distintos organismos se reciben en el centro del centro IEEC (Institut d'Estudis Espacials de Catalunya), que procesa datos de cerca de treinta estaciones de toda Europa. En un futuro próximo, se espera poder procesar asimismo un mayor número de estaciones de GPS terrestres operadas por el organismo de Puertos del Estado (16 estaciones) y el Instituto Geográfico Nacional.

La experimentación previa de HIRLAM con datos de retraso de la señal de GPS, ha mostrado el potencial que tiene este modelo para ser desarrollado en este campo, ya que en comparaciones de medidas de retraso de la señal GPS con datos de sondeos y con predicciones del HIRLAM, la desviación estándar fue mayor en el segundo caso (17 mm ZTD con el modelo, frente a 10 mm ZTD con los sondeos), lo cual indica que existe cierta información en las medidas de GPS que es aún desconocida por el modelo.

Los experimentos que se han hecho corresponden a diferentes formulaciones de la restricción a la primera estimación del sistema de asimilación variacional, llámense versión analítica o estadística (Berre 2001). Las funciones de estructura implicadas por las diferentes aproximaciones difieren, entre otras cosas, en el tratamiento univariante del análisis de humedad en la formulación analítica, a diferencia del análisis multivariante de los campos de masas, viento y humedad en el caso de la estadística. En ambos casos, se ha estudiado el impacto de la asimilación de los datos GPS (con diferentes pesos de estas medidas en el análisis expresadas en función del error de observación asignado) en la calidad de la predicción en un período de quince días en julio de 2003. Dicho período incluye un caso de estudio interesante ocurrido en el SW de Francia.

En todos los experimentos se utilizaron sólo observaciones convencionales procedentes de informes terrestres y marítimos en superficie (SYNOP, SHIP, BUOY) y de altura (AIREP, PILOT), además de las medidas de retrasos de señal de GPS en su caso. La descripción de los experimentos es la siguiente:

- **RAN:** Hirlam 6.2.0.analítico sin datos de GPS.
- **GAN:** Hirlam 6.2.0.analítico con datos de GPS
- **RST:** Hirlam 6.2.0.estadístico sin datos de GPS.
- **GST:** Hirlam 6.2.0. con datos de GPS, sin reducción de bias y con un error de observación de 15mm.
- **GS2:** Hirlam 6.2.0. con datos de GPS, con un error de observación de 5mm.

Por tanto se comparará por un lado la versión de HIRLAM analítica frente a la estadística y después la versión estadística entre sí, con y sin datos de GPS, y además con distintos pesos.

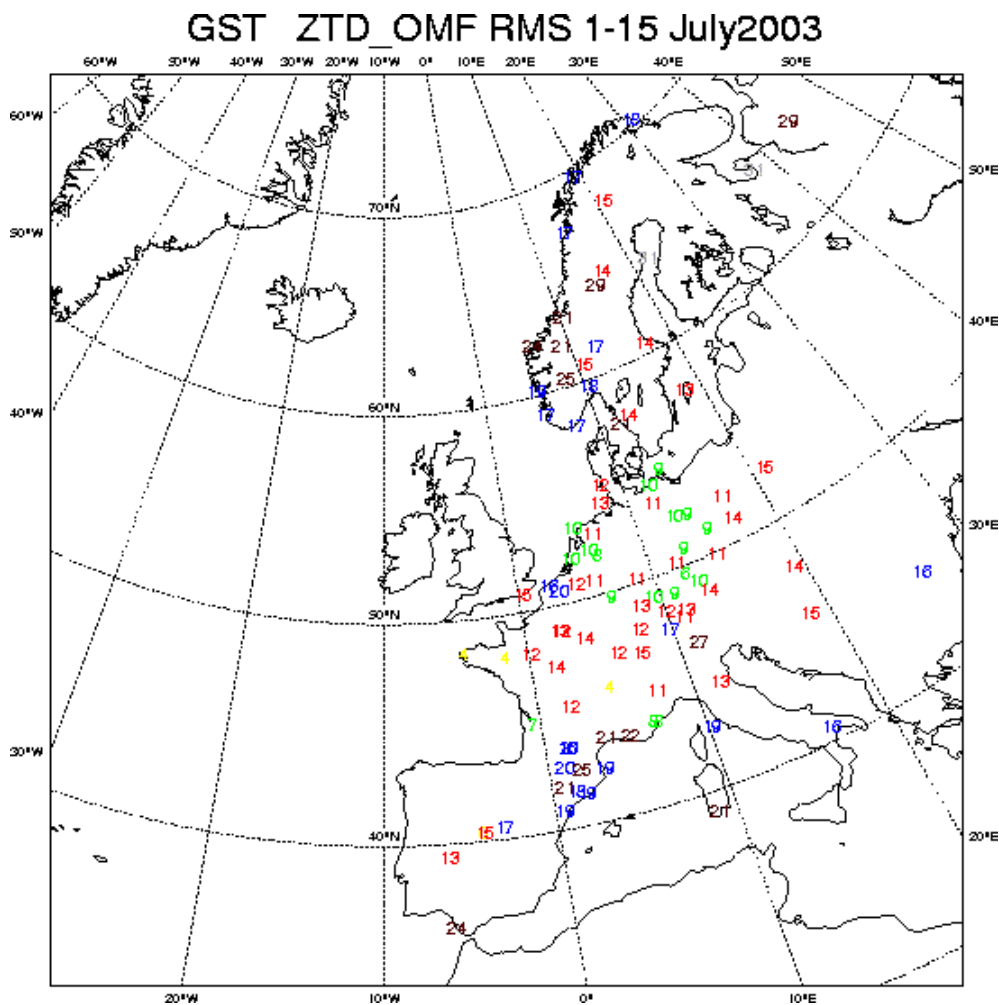
El caso estudiado es una tormenta que ocurrió el día 15 de julio del 2003, desde las 19h15m hasta las 21h sobre la costa francesa, en concreto entre Biscarosse y la bahía de Arcachon, y que atravesó el sur de la zona de la Gironde, pasando sobre la ciudad de Bordeaux. La tormenta provocó ráfagas de viento de alrededor de 150 km/h y precipitaciones entre 10 y 15 mm fueron recogidas en varios minutos. Algunos valores de viento fueron: Biscarosse: 158 km/h, Bordeaux-Merignac: 159 km/h, Cap Ferret: 115 km/h Algunos valores de precipitación recogida son: Cazaux: 53 mm, Biscarosse: 37 mm, Bordeaux: 40 mm.

4. RESULTADOS

Para evaluar el comportamiento de la asimilación de los datos GPS, se ha calculado el valor medio del cuadrado de las innovaciones (observaciones menos “first-guess”) en cada estación de GPS, que mide la distancia al “first-guess” en cada uno de los experimentos.

La figura 3 muestra estas distancias en mm de retraso total cenital ZTD. Los resultados que se obtienen en todos los experimentos que asimilan datos GPS son muy similares. La distancia media entre el “first-guess” y las observaciones resulta ser del orden de 10-13 mm. En todos los experimentos los valores más altos aparecen en las estaciones situadas en Cataluña y en Noruega. En ambos casos se trata de áreas montañosas que a la resolución del modelo (55 km) están muy mal representadas por la orografía del mismo, por lo que estos valores tan altos pudieran ser debidos a errores del operador de observación en zonas de topografía compleja. Por ser muy similar la distancia a las observaciones en todos los experimentos que utilizan datos de GPS, se deduce que el contenido integrado de agua en toda una columna de la atmósfera será muy parecido.

Fig.3. Distribución de valores de RMS para el experimento GST.



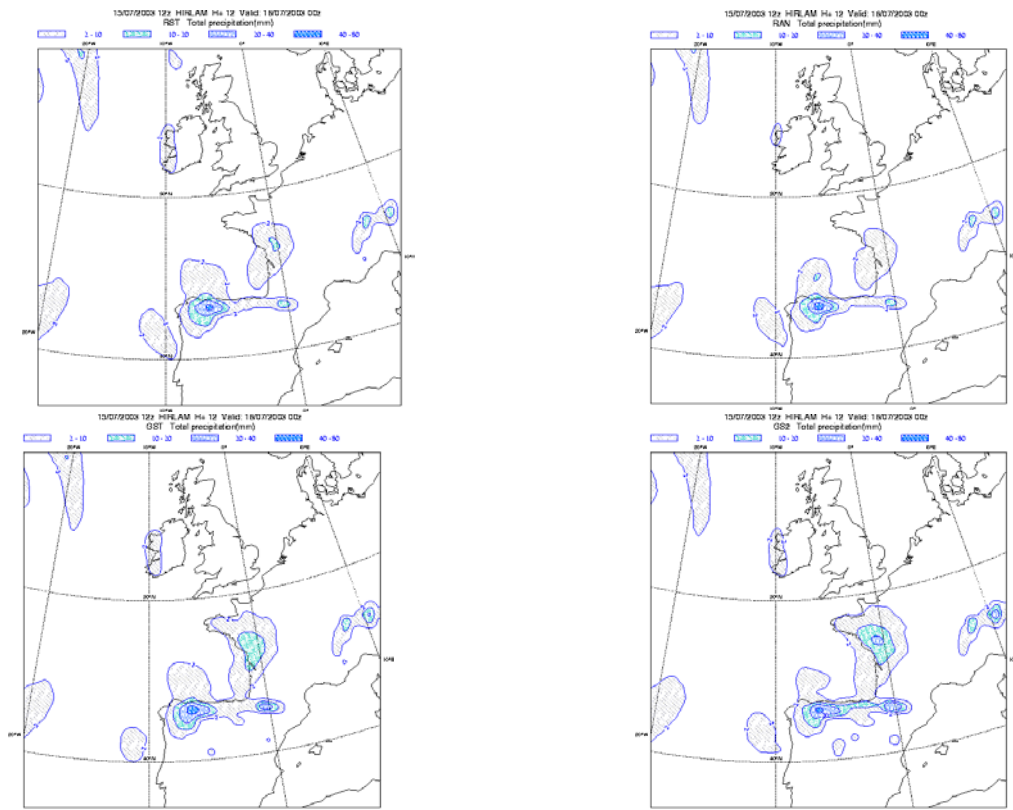
Sin embargo, las predicciones de precipitación, como se muestra a continuación, son muy diferentes para cada experimento. Esto es debido a la distinta modelización de la matriz de covarianza de los errores del “first-guess” en cada experimento, que repercutirá en un diferente reparto en la vertical del

error en el contenido de agua precipitable, incluso afectando a los perfiles de las otras variables atmosféricas en los experimentos que utilizan la formulación estadística que permite acoples entre los errores de temperatura, viento y humedad.

Para el caso de precipitación intensa en el SW de Francia, las precipitaciones previstas a 12 horas por los diferentes experimentos se muestran en la figura 4. En dicha figura, se aprecia que los experimentos que utilizaron datos GPS son capaces de pronosticar cantidades de precipitación moderadas a intensas al W de Francia, aunque con máximos situados un poco más al N de la zona donde en realidad se registraron. El experimento que otorga más peso a las observaciones GPS, es capaz de simular una mayor cantidad de precipitación sobre Francia.

La verificación de las predicciones de temperatura, viento y humedad frente a radiosondeos para todo el período, muestra un impacto neutro de la asimilación de los datos de GPS, cualquiera que sea la formulación de la restricción a la primera estimación escogida.

Fig.4. Precipitación dada por RST, RAN, GST y GS2.



Se compara a continuación la verificación de la precipitación acumulada en seis horas en los distintos experimentos. La comparación está hecha con precipitación acumulada seis horas por intervalos, de tal forma que el primer

intervalo corresponde a la precipitación acumulada en seis horas (en mm) desde 0 hasta 0.1, el segundo desde 0.1 hasta 0.3, el tercero desde 0.3 a 1, el cuarto desde 1 a 3, el quinto desde 3 a 10, el sexto desde 10 a 30, el séptimo desde 30 a 100, el octavo desde 100 a 200 y el noveno corresponde a más de 200mm en seis horas. Se comparan en primer lugar los experimentos analítico y estadístico sin datos de GPS (RAN y RST, respectivamente). (Fig.5). Para este periodo, se puede apreciar como la versión estadística de la asimilación variacional mejora las predicciones de precipitación que da la analítica, ya que, a pesar de tener un mayor *bias* (sobre-predice un poco más), el resto de los índice estadísticos, como el TSS (True Skill Score) o el ETS (Equitable Threat Score), o la Probabilidad de Detección son mejores para la formulación estadística.

En consecuencia, la versión estadística con datos de GPS predecirá también mejor que la analítica con GPS, lo cual se ha sobreentendido aquí, y por ello, se ha utilizado directamente GST (versión estadística con GPS) para comparar con RST (Estadística sin datos GPS) y estudiar así el impacto de los mismos, y con GS2 (GST pero los datos GPS tienen más peso) para ver que peso puede ser el más adecuado para asignar a esas observaciones de retraso de señal de GPS. (Fig.6).

Y comparando los tres experimentos, se deduce que:

El índice TSS (True Skill Score) muestra en todos los intervalos de precipitación que el mejor modelo es el que otorga más peso a los datos GPS. La probabilidad de detección es similar para todas las versiones e independiente por tanto del uso de datos GPS y el peso que se haya dado a los mismos. El índice ETS (Equitable Threat Score), muestra una mejora de las predicciones que utilizaron GPS en casos de precipitaciones moderadas a intensas. El comportamiento del *bias* al introducir más peso en las observaciones de GPS se hace más acusado, sobre-prediciendo más en intervalos de precipitación menores e infra-prediciendo en los mayores.

Fig.5. Verificación de la precipitación RST vs RAN.

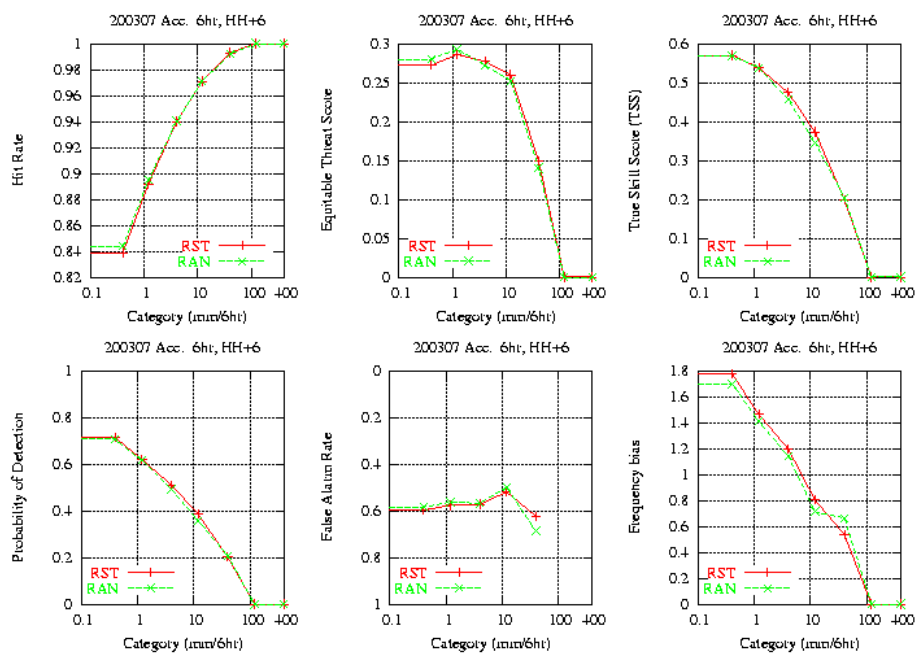
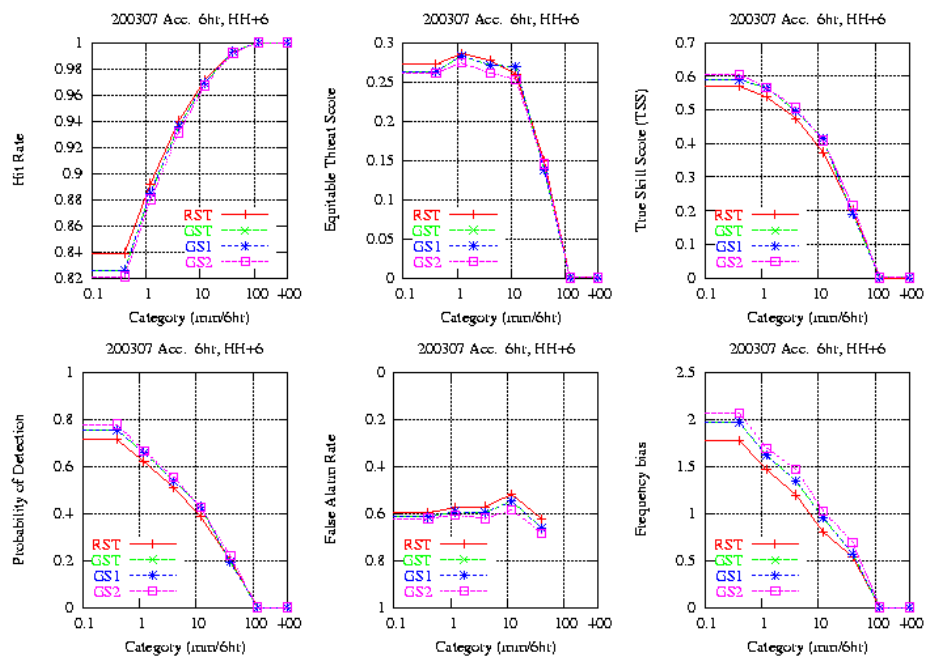


Fig.6. Verificación de la precipitación en RST, GST y GS2.



5. SUMARIO

Se han introducido las observaciones de retraso total cenital de las señales de GPS (ZTD) de la red europea sostenida por el proyecto TOUGH en el sistema de asimilación variacional 3D HIRLAM.

El mayor impacto debido a las predicciones del modelo por la asimilación de estas medidas, aparece en los campos de precipitación. Dicho impacto depende de la formulación de la restricción a la primera estimación escogida en el sistema de asimilación variacional y del peso otorgado a los datos GPS en el mismo, mediante el error de observación asignado.

Parece necesario,

- Aumentar el número de estaciones GPS sobre la península Ibérica para tener así más información sobre la humedad atmosférica.
- Hacer una corrección del error de observación en las distintas estaciones según el centro de proceso de datos que proporcione los datos.
- Mejorar el “operador de observación” en las zonas de montaña del área estudiada. A parte de hacer los mismos experimentos con una resolución mayor.
- Sintonizar correctamente el valor asignado a las observaciones de retraso de señal GPS y en la asimilación variacional, ya que según se ha visto, el modelo es muy sensible a ellos.

Se ha seleccionado para estos experimentos un periodo al azar donde tuvo lugar una tormenta, con intensidad de precipitación fuertes. Estos mismos experimentos se efectuarán en un periodo de tiempo más largo en pasadas paralelas a la operativa del INM. Asimismo, se llevarán a cabo experimentos sobre casos de estudio de precipitación intensa durante el otoño. La validación de las predicciones de precipitación hará uso de las observaciones de las estaciones de la red climatológica del INM (3500 estaciones) y de la red de radares del INM.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está financiado por el proyecto TOUGH, englobado en el 5º Programa Marco de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Comisión Europea, contrato EVG1-CT-2002-00080. Un especial agradecimiento a Beatriz Navascués, a J.A. García-Moya, a Javier Calvo y a todo el Servicio de Predicción Numérica del Tiempo del INM.

REFERENCIAS

- Wilks, D.S. 1995: Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. *Academic Press*.
- Undén P. et al. 2002 : « HIRLAM-5 Scientific Documentatin », SMHI Norrköping, SWEDEN.
- Berre L. 2001 : Représentation des covariances spatiales des erreurs de prévision pour une assimilation variationnelle dans un modele atmospherique à aire limitée ». Ph Thesis. Météo France/CNRM/GMAP, Toulouse, France.