

El futuro más prometedor: Meteosat Tercera Generación

Xavier Calbet y Rolf Stuhlmann. EUMETSAT (Darmstadt)

La organización europea para la explotación de los satélites meteorológicos (EUMETSAT, *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) está preparando la futura generación de satélites meteorológicos geoestacionarios. Esta será la tercera generación de una serie exitosa de satélites europeos, conocidos como Meteosat, que proveen a los servicios meteorológicos y a otros usuarios con imágenes de la tierra en tiempo casi real.

El pasado: Meteosat Primera Generación

La primera serie de satélites europeos meteorológicos geoestacionarios es conocida como Meteosat Primera Generación. El primero de ellos, el Meteosat-1 se lanzó al espacio en 1977 y el último de esta generación se lanzó veinte años más tarde, en 1997. En la Tabla 1 podemos ver la historia operativa de cada uno de los satélites de la primera y de algunos de la segunda generación. La primera generación estuvo formada por satélites que se estabilizan haciéndolos girar sobre su propio eje. Su principio de funcionamiento es análogo al de una peonza que se mantiene vertical por el hecho de girar sobre sí misma. Es por ello por lo que estos satélites tienen forma cilíndrica (véase Fig. 1). Proporcionan imágenes por medio de su instrumento principal denominado MVIRI (*Meteosat Visible and Infrared Imager*) en tres canales en las regiones visible, infrarrojo y de absorción del vapor de agua del espectro electromagnético. Para observar la Tierra disponen de una ventana lateral por la que entra la radiación que incide sobre un telescopio de 400 mm. de diámetro, siendo reflejada luego por otros espejos para finalmente ser medida por los



Figura 1: Maqueta a tamaño real de un satélite Meteosat Primera Generación en la sede de EUMETSAT en Darmstadt (Alemania). El autor posa junto al satélite para que se aprecie su verdadera escala.

detectores. Proporcionan una imagen de la Tierra cada 30 minutos con una resolución espacial de 2.5 km en el canal visible y 5 km para el resto de canales sobre un objetivo en el nadir. Los Meteosat-6 y 7, ambos de primera generación, siguen estando operativos sobre el Océano Índico proporcionando datos 24 horas al día. Suelen operar por duplicado para que mientras uno de ellos está realizando las observaciones (Meteosat-7), el otro está en reserva (Meteosat-6) por si falla el primero.

El presente: Meteosat Segunda Generación

La segunda generación de Meteosat (MSG, *Meteosat Second Generation*) constituye un avance significativo frente a la generación anterior de satélites. Se trata de cuatro satélites meteorológicos geoestacionarios que operarán consecutivamente hasta el 2018.

El primer satélite MSG lanzado al espacio fue el Meteosat-8, en el 2002. El segundo, el Meteosat-9, se lanzó en diciembre de 2005 (ver Tabla 1). Los MSG giran sobre sí mismos a una velocidad de 100 revoluciones por minuto, así pues, al igual que los de primera generación, éstos también tienen una forma cilíndrica (Fig. 2). Disponen

Nombre	Año Inicio	Año Final
Meteosat-1	1977	1979
Meteosat-2	1981	1991
Meteosat-3	1988	1995
Meteosat-4	1989	1995
Meteosat-5	1991	2007
Meteosat-6	1993	2010
Meteosat-7	1997	2013
Meteosat-8	2002	2011
Meteosat-9	2005	2014

Tabla 1

Historia operativa de los satélites Meteosat

de un telescopio con un espejo primario de 510 mm. de diámetro. Su instrumento principal se denomina SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager*) y toman una imagen de la Tierra cada 15 minutos en 12 canales del espectro electromagnético con una resolución de 3 km en el nadir para todos los canales y de 1 km para el visible de alta resolución. Estos dos satélites están actualmente situados alrededor de la longitud cero y proporcionan las imágenes meteorológicas de Europa que todos estamos acostumbrados a ver. De forma similar a los de primera generación, operan en tándem de forma que uno observa todo el hemisferio visible de la Tierra desde su órbita geoestacionaria y el otro está en reserva y realizando observaciones de mayor frecuencia temporal de regiones particulares de la Tierra. Los satélites MSG también llevan a bordo el



Figura 2: Maqueta a tamaño real de un satélite Meteosat Segunda Generación en la sede de EUMETSAT en Darmstadt (Alemania). El autor posa junto al satélite para que se aprecie su verdadera escala.

instrumento para medir el balance de radiación de la Tierra denominado GERB (*Geostationary Earth Radiation Budget*). Este instrumento hace un seguimiento del balance radiativo de la Tierra midiendo la radiación en una banda muy ancha del espectro solar (0.32 to 4.0 μm) y en otra cubriendo una zona muy amplia del espectro (0.32 to 30 μm) desde el espacio.

El futuro: Meteosat Tercera Generación

Si la primera generación de Meteosat es el pasado, la segunda generación es el presente, la tercera generación representa el futuro. La tercera generación de satélites Meteosat (MTG) ha de proporcionar los servicios de observación meteorológica en órbita geoestacionaria a partir del año 2015. El planeamiento de algo tan complicado como especificar, diseñar y construir unos objetos de tecnología punta como son los satélites meteorológicos es un proceso que requiere tiempo y recursos. El coste total de todo el proyecto deberá ser similar al coste de MSG para dar un servicio operativo de unos 20 años. La evolución temporal del proyecto habitualmente se divide en varias fases:

- **Fase 0:** en esta fase se consulta a los usuarios los requerimientos que desearían tener en el futuro sistema sin importar demasiado su coste. En el caso de MTG esta fase comprendió un intervalo de tiempo desde el 2001 al 2006.
- **Fase A:** en ella se determina si el sistema que se propone es viable tanto desde el punto de vista técnico como económico. Si los requerimientos han resultado ser demasiado ambiciosos, se tienen que recortar para hacer el

proyecto posible. Esta fase abarcó los años 2006 al 2008. Una vez acabada esta fase se debe de tener un concepto de los instrumentos que estarán a bordo de los satélites.

- **Fase B:** en este periodo se hace un diseño preliminar del sistema, tanto del segmento de tierra como del segmento espacial. Esta es la fase en la que el proyecto se encuentra actualmente y abarcará del 2009 al 2010.
- **Fase C/D:** desarrollo del satélite y del segmento de tierra hasta su lanzamiento y puesta en órbita. Planeada entre el 2010 y el 2018.
- **Fase E:** fase de operaciones. Durante esta fase se opera el satélite y se le saca el rendimiento deseado. Comienza con el lanzamiento del primer satélite en el 2015 y ofreciendo un servicio operativo de 20 años.

En otoño del año pasado el máximo organismo de gobierno de EUMETSAT, su Consejo, decidió continuar adelante la Fase B con un concepto bastante diferente al de anteriores generaciones de Meteosat. Ello no quiere decir que todas las propuestas de instrumentos en los que se está trabajando actualmente en la Fase B continúen en la Fase C/D, pudiéndose abandonar alguna de ellas al llegar a esta última fase.

La primera característica que distinguirá a MTG de las generaciones anteriores es que debido al requerimiento tan grande de resolución espacial, necesitará una alta precisión para apuntar a los objetivos, con lo cual dejará de ser un satélite giratorio y será un satélite estabilizado en tres ejes. Debido a esto los satélites tendrán una forma de prisma rectangular con sus correspondientes paneles solares (véase Fig. 3).

La segunda y quizás más importante diferencia desde el punto de vista meteorológico es que se han propuesto hasta cuatro instrumentos diferentes que serán utilizados simultáneamente, ordenados de mayor a menor prioridad y que son: cámara flexible (FCI, *Flexible Combined Imager*), sondeador infrarrojo (IRS, *InfraRed Sounder*), Cámara de relámpagos (LI, *Lightning Imagery*) y el sondeador ultravioleta, visible e infrarrojo cercano (UVN, *Ultraviolet Visible Near-Infrared*).

La tercera diferencia importante es que los diferentes instrumentos propuestos volarán en diferentes plataformas, es decir habrán dos tipos de satélites diferentes, que serán lo más similares posibles entre si para minimizar costes. Uno de ellos se denominará MTG-I y tendrá a bordo la cámara flexible (FCI) y la cámara de relámpagos. Al igual que los MSG, su funcionamiento se hará en tándem de forma que se disponga de dos de ellos a la vez en el espacio. Así pues, uno de los MTG-I en órbita se dedicará a observar todo el hemisferio visible desde su posición y el otro estará

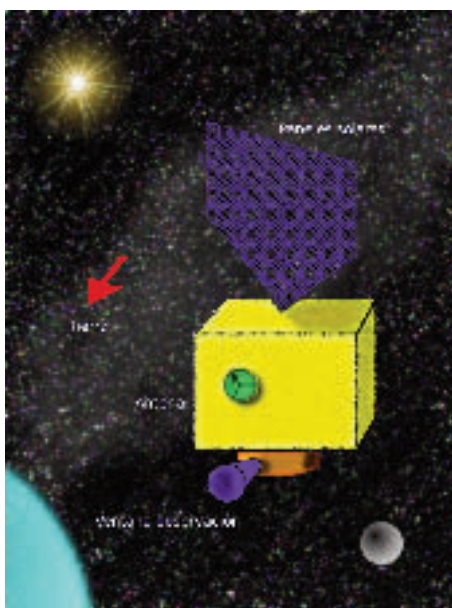


Figura 3: Aspecto esquemático del Meteosat Tercera Generación.

principalmente en reserva y haciendo observaciones de alta resolución temporal de objetivos seleccionados. Se construirán cuatro MTG durante toda la duración de la fase operativa de los MTG. El segundo tipo de MTG se denominará MTG-S y dispondrá de los dos sondeadores (IRS y UVN). De este modelo en particular sólo habrá uno en órbita en un momento determinado y no tendrán satélite de reserva en el espacio. Dentro de todo el programa MTG se construirán dos satélites de este tipo. En la Fig. 4 se muestra el plan operativo de los MTGs.

En las siguientes secciones veremos cada uno de los instrumentos por separado.

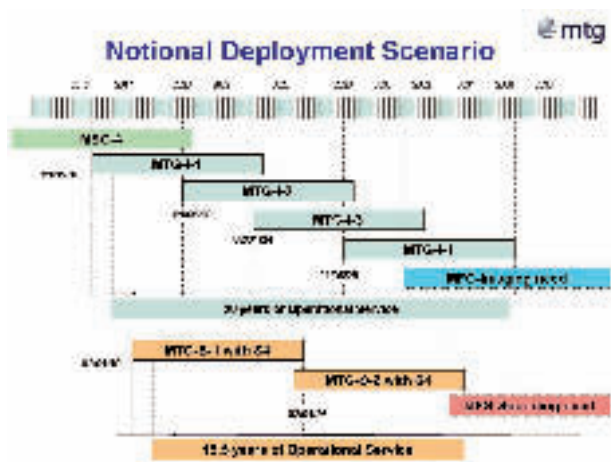


Figura 4. Previsión de lanzamiento y vida operativa de los satélites Meteosat Tercera Generación.

Instrumentos de MTG

Cámara Flexible (FCI, Flexible Combined Imager): Este instrumento será la continuación de los actuales SEVIRI de los MSG. Proporcionará imágenes de alta resolución espacial (1 a 2 km bajo el nadir) en 16 canales visibles e infrarrojos cada 10 min.. Además deberá también proveer de secuencias de imágenes con alta resolución espacial (0,5 a 1,0 km) y temporal (cada 2,5 min.) de un cuarto del globo terrestre visto desde la posición geoestacionaria para unos canales determinados. Los detalles técnicos y sus diferencias con las anteriores generaciones se aprecian mejor en la Tabla 2. En ella se pueden observar las impresionantes características de este instrumento.

Las características temporales, espaciales y espectrales de la FCI permitirán observar la Tierra con una precisión sin precedentes. Con ella se podrán observar de forma mejorada respecto a las anteriores generaciones:

- Evolución de las nubes con una gran resolución espacial y temporal.
- Características de las nubes tales como la fase de las partículas que las constituyen (agua, hielo), el tamaño de dichas partículas, el tipo de nube de que se trata, etc.
- Se podrá determinar la posibilidad de que una nube particular evolucione hasta convertirse en una tormenta severa.

- Se podrán obtener también índices de inestabilidad convectiva más precisos.
- Los canales de que dispone la FCI permitirán determinar mejor las propiedades de los aerosoles presentes en la atmósfera y las tormentas de polvo.
- La detección de incendios mejorará sensiblemente.
- Haciendo seguimiento de los movimientos de la atmósfera de una imagen a la siguiente, se podrán determinar vientos con gran precisión.
- Con el canal centrado en la banda de absorción del ozono se podrá saber su cantidad total en columna.

La Tabla 3 resume las principales utilidades de cada uno de los canales de la FCI.

Sondeador infrarrojo (IRS, InfraRed Sounder): Este instrumento cubrirá todo el disco cada 60 min con una resolución espacial de 4 km proporcionando los denominados sondeos hiperspectrales. Éstos son espectros del campo de visión con una altísima resolución espectral de 0.754 cm^{-1} en dos bandas, una de onda larga infrarroja (700 a 1210 cm^{-1}) y otra en onda media infrarroja (1600 a 2175 cm^{-1}) proporcionando un total de 1738 canales.

A partir de los espectros de alta resolución obtenidos con el IRS, se pueden obtener perfiles verticales de temperatura con una resolución vertical sin precedentes, típicamente con un error de 1K en 1 ó 2 km en la vertical y de humedad con una precisión de entre el 10 y el 20% , en campos despejados o por encima de la cobertura nubosa. Si a esto añadimos el ciclo de repetición temporal de las medidas, 60 min , comprobaremos que estaremos en efecto obteniendo secciones de la atmósfera en cuatro dimensiones, las tres espaciales más la temporal.

El objetivo principal del IRS es el de apoyar la predicción numérica regional y a escala convectiva en Europa al proporcionar información de campos de temperatura y humedad en cuatro dimensiones con una alta resolución vertical, horizontal y temporal. Además, la misión apoyará la predicción numérica global aportando información

Canales	Meteosat 1ª Generación			Meteosat 2ª Generación			Meteosat 3ª Generación		
	λ (μm)	$\Delta\lambda$ (μm)	Δx (km)	λ (μm)	$\Delta\lambda$ (μm)	Δx (km)	λ (μm)	$\Delta\lambda$ (μm)	Δx (km)
FC-VIS 0.4							0.444	0.06	1.0
FC-VIS 0.5							0.510	0.05	1.0
FC-VIS 0.6	0.7	0.35	2.5	0.635	0.08	3.0	0.645	0.08	0.5
FC-VIS 0.8				0.81	0.07	3.0	0.86	0.07	1.0
FC-NIR 0.9							0.96	0.06	1.0
FC-NIR 1.3							1.375	0.03	1.0
FC-NIR 1.6				1.64	0.14	3.0	1.61	0.06	1.0
FC-NIR 2.2							2.26	0.05	0.5
FC-IR 3.8				3.9	0.44	3.0	3.8	0.40	1.0
FC-IR 6.2	6.1	1.3	5.0	6.2	1.0	3.0	6.2	1.00	2.0
FC-IR 7.3				7.35	0.5	3.0	7.35	0.50	2.0
FC-IR 8.7				8.7	0.4	3.0	8.7	0.40	2.0
FC-IR 9.7				9.66	0.3	3.0	9.66	0.30	2.0
FC-IR 10.8	11.5	1.9	5.0	10.8	1.0	3.0	10.5	0.7	1.0
FC-IR 12.0				12.0	1.0	3.0	12.3	0.5	2.0
FC-IR 13.3				13.4	1.0	3.0	13.3	0.60	2.0
Ciclo repet.	30 min			15 min			10 min		

Tabla 2: Comparativa de las características de los canales de las tres generaciones de Meteosa. λ es la longitud de onda central, $\Delta\lambda$ la anchura del canal y Δx la resolución espacial en el punto subsatélite.



dinámica de los vientos determinados a partir del seguimiento de los movimientos atmosféricos en las imágenes. Lo posición vertical de dichos vientos se podrá determinar con una alta precisión con este tipo de instrumentos.

Otra de las aplicaciones claras del IRS será la de ayudar al “*nowcasting*” proporcionando los campos cuatridimensionales de temperatura y humedad de la atmósfera y potencialmente vientos. De ellos podremos deducir la convergencia de humedad y la inestabilidad convectiva.

Se espera que el IRS también aporte su contribución en el campo de las medidas de calidad del aire y su predicción. Podrá proporcionar medidas operativas de monóxido de carbono y ozono en la troposfera libre y bajo condiciones atmosféricas particulares también de la polución en la capa límite.

Cámara de relámpagos (LI, *Lightning Imagery*)

Deberá detectar más del 80% de los relámpagos (pulsos de energía de aproximadamente 600 μs de duración dispersos sobre un área de unos 10x10 km²), los cuales están ligados a descargas que ocurren entre nubes o entre nube y tierra con una energía mayor a un umbral determinado (por encima de 4-7 μJm⁻²sr⁻¹, dependiendo de la iluminación de fondo).

Su principal aplicación consiste en la detección de rayos para evitar sus efectos perjudiciales directos tanto en aviación como en otras aplicaciones. También será útil para

localizar las tormentas severas que van acompañadas de otros posibles efectos perjudiciales, tales como precipitación intensa, granizo y rachas de viento, aportando de esta forma un apoyo fundamental al “*nowcasting*”.

Sondeador ultravioleta, visible e infrarrojo cercano (UVN, *Ultraviolet Visible Near-Infrared*)

Cubrirá una parte (3,5° N/S, 9° E/W) de la vista hemisférica incluyendo Europa cada 60 min. Tomará medidas en tres bandas espectrales (UV: 290 – 400 nm; VIS: 400 – 500 nm, NIR: 755 – 775 nm) con el fin de determinar concentraciones de O₃, NO₂, SO₂, H₂CO, aerosoles y propiedades de nubes con una resolución espacial de 10 km o mejor. El instrumento UVN estará englobado dentro de la misión *Sentinel-4* de GMES dedicada a la química atmosférica y estará físicamente ubicado en las plataformas MTG.

Conclusión

La instrumentación ahora planeada para el MTG se puede calificar sin duda como extraordinaria. La cámara flexible (FCI) proporcionará imágenes meteorológicas con una resolución espacial y temporal sin precedentes en 16 canales. Por si fuera poco, EUMETSAT es la única organización del mundo que tiene previsto lanzar sondeadores

hiperspectrales en infrarrojo y visible/ultravioleta (IRS y UVN) en órbita geoestacionaria. Si finalmente los planes se llevan a cabo, EUMETSAT, y con ella Europa, llevará a cabo un hito extraordinario al tomar la delantera al resto de organizaciones de satélites del mundo colocando en órbita geoestacionaria dichos sondeadores hiperespectrales. El IRS será un instrumento revolucionario que permitirá observar la atmósfera libre de nubes verdaderamente en secciones 4-D (espacio y tiempo). Algo similar se puede decir de la cámara de relámpagos (LI), si todo sale según lo previsto EUMETSAT estará entre las primeras organizaciones mundiales en colocar este tipo de instrumentos en órbita geoestacionaria. Y todo ello con un presupuesto previsto similar al del MSG. Esperemos que estas propuestas sigan siendo respaldadas por el Consejo de EUMETSAT a lo largo de todo el proyecto MTG, y en particular al inicio de la fase C/D a finales del 2010, para que se conviertan en realidades.

Canales	Tabla 3 - Principales aplicaciones de cada uno de los canales de Meteosat Tercera Generación (MTG)
FC-VIS 0.4	Profundidad óptica de aerosoles, tamaño de partícula de aerosoles, concentración de ceniza volcánica
FC-VIS 0.5	Profundidad óptica de aerosoles, tamaño de partícula de aerosoles, concentración de ceniza volcánica
FC-VIS 0.6	Detección de nubes, determinación de vientos a partir de los movimientos de la atmósfera, tipo de nube, profundidad óptica de la nube, cubierta de nieve, estrés de la vegetación, detección de humo, detección de ceniza volcánica, concentración de ceniza volcánica
FC-VIS 0.8	Detección de nubes, determinación de vientos a partir de los movimientos de la atmósfera, tipo de nube, fase de la nube, profundidad óptica de la nube, microfísica de la nube, cubierta de nieve, estrés de la vegetación, detección de humo, detección de ceniza volcánica, concentración de ceniza volcánica
FC-NIR 0.9	Humedad total en columna
FC-NIR 1.3	Detección de cirros, imágenes de vapor de agua
FC-NIR 1.6	Fase de la nube, microfísica de la nube, detección de nubes, tipo de nube, cubierta de nieve, estrés de la vegetación, detección de humo
FC-NIR 2.2	Microfísica de la nube
FC-IR 3.8	Detección de nubes, microfísica de la nube, determinación de vientos a partir de los movimientos de la atmósfera, tipo de nube, temperatura superficial de la tierra y el mar, fase de la nube, cubierta de nieve, temperatura del hielo sobre el mar, detección de fuego, detección de ceniza volcánica, concentración de ceniza volcánica
FC-IR 6.2	Determinación de vientos a partir de los movimientos de la atmósfera, determinación de su altura, inestabilidad (gradiente temperatura/humedad), humedad total en columna
FC-IR 7.3	Determinación de vientos a partir de los movimientos de la atmósfera, determinación de su altura, inestabilidad (gradiente temperatura/humedad), humedad total en columna
FC-IR 8.7	Detección de nubes, tipo de nube, altura del tope nuboso, temperatura superficial de la tierra y el mar, fase de la nube, tamaño de la gota de la nube, inestabilidad (gradiente temperatura/humedad), temperatura del hielo sobre el mar, detección de SO ₂ volcánica, detección de tormentas de polvo/arena
FC-IR 9.7	Columna total de ozono
FC-IR 10.8	Detección de nube, determinación de vientos a partir de los movimientos de la atmósfera, determinación de su altura, altura del tope nuboso, humedad total en columna, tipo de nube, temperatura superficial de la tierra y el mar, inestabilidad (gradiente temperatura/humedad), temperatura del hielo sobre el mar, detección de fuego, detección de ceniza volcánica, concentración de ceniza volcánica, detección de tormentas de polvo/arena
FC-IR 12.0	Detección de nubes, tipo de nube, altura del tope nuboso, determinación de vientos a partir de los movimientos de la atmósfera, determinación de su altura, temperatura superficial de la tierra y del mar, inestabilidad (gradiente temperatura/humedad), humedad total en columna, temperatura del hielo sobre el mar, detección de ceniza volcánica, concentración de ceniza volcánica, detección de tormentas de polvo/arena
FC-IR 13.3	Altura del tope nuboso, determinación de la altura de los trazadores de viento, inestabilidad (gradiente temperatura/humedad), detección de ceniza volcánica