

# Directrices sobre las mejores prácticas para preparar a los usuarios de nuevos satélites meteorológicos

Edición de 2017

TIEMPO CLIMA AGUA



ORGANIZACIÓN  
METEOROLÓGICA  
MUNDIAL

OMM-N° 1187



# Directrices sobre las mejores prácticas para preparar a los usuarios de nuevos satélites meteorológicos

Edición de 2017



ORGANIZACIÓN  
METEOROLÓGICA  
MUNDIAL

OMM-N° 1187

#### NOTA DE LA EDICIÓN

METEOTERM, base terminológica de la OMM, está disponible en la página web: <http://public.wmo.int/es/recursos/meteoterm>.

Conviene informar al lector de que cuando copie un hipervínculo seleccionándolo del texto podrán aparecer espacios adicionales inmediatamente después de <http://>, <https://>, <ftp://>, <mailto:>, y después de las barras (/), los guiones (-), los puntos (.) y las secuencias ininterrumpidas de caracteres (letras y números). Es necesario suprimir esos espacios de la dirección URL copiada. La dirección URL correcta aparece cuando se pone el cursor sobre el enlace o cuando se hace clic en el enlace y luego se copia en el navegador.

OMM-N° 1187

© Organización Meteorológica Mundial, 2017

La OMM se reserva el derecho de publicación en forma impresa, electrónica o de otro tipo y en cualquier idioma. Pueden reproducirse pasajes breves de las publicaciones de la OMM sin autorización siempre que se indique claramente la fuente completa. La correspondencia editorial, así como todas las solicitudes para publicar, reproducir o traducir la presente publicación parcial o totalmente deberán dirigirse al:

Presidente de la Junta de publicaciones  
Organización Meteorológica Mundial (OMM)  
7 bis, avenue de la Paix  
Case postale N° 2300  
CH-1211 Genève 2, Suiza

Tel.: +41 (0) 22 730 84 03  
Fax: +41 (0) 22 730 81 17  
Correo electrónico: [publications@wmo.int](mailto:publications@wmo.int)

ISBN 978-92-63-31187-0

NOTA

Las denominaciones empleadas en las publicaciones de la OMM y la forma en que aparecen presentados los datos que contienen no entrañan, de parte de la Organización, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

La mención de determinados productos o sociedades mercantiles no implica que la OMM los favorezca o recomiende con preferencia a otros análogos que no se mencionan ni se anuncian.





# ÍNDICE

	<i>Página</i>
<b>PROYECTO DE REFERENCIA PARA LA PREPARACIÓN DE USUARIOS .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Información general .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Aplicabilidad .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Actividades de los usuarios para estar preparados .....</b>	<b>9</b>
3.1 Establecimiento de un proyecto de preparación de usuarios .....	9
3.2 Presupuestación y planificación .....	10
3.3 Investigación y desarrollo .....	10
3.4 Desarrollo y ensayos del tratamiento de datos. ....	10
3.5 Desarrollo y ensayos del procesamiento de datos .....	11
3.6 Formación .....	11
3.7 Creación de capacidad .....	13
3.8 Contribuciones a la calibración y la validación .....	13
<b>4. Fases de desarrollo de sistemas satelitales .....</b>	<b>13</b>
<b>5. Entregables de los programas de desarrollo de satélites a los proyectos de preparación de usuarios .....</b>	<b>14</b>
5.1 Calibración y caracterización de instrumentos antes del lanzamiento .....	14
5.2 Especificaciones de los productos .....	17
5.3 Especificaciones de los mecanismos de acceso a datos .....	17
5.4 Herramientas informáticas y datos de ensayos .....	17
5.5 Planes y calendarios de operaciones .....	18
5.6 Notificación y respuesta de los usuarios .....	19
5.7 Recursos de formación .....	19
5.8 Otros entregables .....	19
<b>6. Calendario del proyecto de referencia para la preparación de usuarios .....</b>	<b>19</b>





# PROYECTO DE REFERENCIA PARA LA PREPARACIÓN DE USUARIOS

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

Prácticamente todos los sistemas de satélites meteorológicos geoestacionarios del mundo han sido o serán reemplazados por satélites de nueva generación entre 2015 y 2022 por China, los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia, el Japón, la República de Corea y la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT). Los satélites de nueva generación transportan captadores de imágenes avanzados con como mínimo 16 canales espectrales y capacidad de exploración rápida flexible y, en algunos casos, también cuentan con innovadoras cargas útiles adicionales, como sondas y trazadores cartográficos de rayos (véase el cuadro 1). En el próximo decenio se pondrán en funcionamiento otros sistemas de nueva generación en órbita polar y otros tipos de órbita.

**Cuadro 1. Satélites meteorológicos de nueva generación en órbita geoestacionaria, 2015-2022 (en abril de 2017)**

Satélite	Operador	Fecha de lanzamiento	Longitud	Captador de imágenes	Núm. de canales espectrales	Resolución espacial (km)	Resol. temporal (conjunto de discos) (min)	Sonda (S)/ Trazador cartográfico de rayos (T) a bordo
Himawari-8*	JMA	7 oct. 2014	140° E	AHI	16	0,5-2	10	- / -
Electro-L N2*	Ros-hydromet	11 dic. 2015	78° E	MSU-GS	10	1-4	15	- / -
INSAT-3DR*	ISRO	8 sep. 2016	74° E	Imager	6	1-8	30	S / -
GOES-R	NOAA	19 nov. 2016	137° W	ABI	16	0,5-2	15	- / T
Himawari-9	JMA	2 nov. 2016	140° E	AHI	16	0,5-2	10	- / -
FY-4A	CMA	10 dic. 2016	86,5° E	AGRI	14	1-4	15	S / T
GOES-S	NOAA	2018	75° W	ABI	16	0,5-2	15	- / T
GEO-KOMPSAT-2A	KMA	2018	128,2° E	AMI	16	0,5-2	10	- / -
FY-4B	CMA	2018	105° E	AGRI	14	0,5-4	15	S / T
MTG-I/S	EUMETSAT	2020-22	9,5° E	FCI	16	0,5-2	10	S / T

### Notas:

ABI: captador de imágenes de base avanzado; AGRI: captador de imágenes de radiación avanzado en órbita geoestacionaria; AHI: captador de imágenes avanzado del Himawari; AMI: detector de microondas activo; CMA: Administración Meteorológica de China; Electro-L N2: satélite meteorológico operativo electrogeoestacionario de serie L número 2; FCI: captador de imágenes flexible combinado; FY-4A/4B: Feng-Yun-4A/4B; GEO-KOMPSAT-2A: satélite geoestacionario con fines múltiples de Corea-2A; GOES-R/S: satélite geoestacionario operativo para el estudio del medio ambiente de serie R/de serie S; INSAT-3DR: satélite nacional indio-3D repeat; ISRO: Organización India de Investigación Espacial; JMA: Servicio Meteorológico del Japón; KMA: Administración Meteorológica de Corea; MSU-GS: explorador multiespectral geoestacionario; MTG-I/S: Meteosat de tercera generación con captador de imágenes/con sonda; NOAA: Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera de los Estados Unidos de América; Roshydromet: Servicio Federal Ruso de Hidrometeorología y Vigilancia del Medio Ambiente.

\* El Himawari-8, el Electro-L N2 y el INSAT-3DR están operativos.

Fuente: Herramienta de análisis y examen de la capacidad de los sistemas de observación desde el espacio (OSCAR/Space) (en abril de 2017)

Los satélites de nueva generación permitirán realizar mejoras significativas en los productos y servicios satelitales que proporcionan los Miembros de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), siempre y cuando los usuarios puedan beneficiarse eficazmente de ello: la integración de los nuevos tipos de datos en planes operativos, con un mayor volumen general de datos que el actual, repercutirá considerablemente en la infraestructura, los sistemas, las aplicaciones y los servicios de los usuarios y requiere la adopción de medidas coordinadas a nivel científico, técnico, financiero, organizativo y educativo. La preparación oportuna y meticulosa de los usuarios de los datos obtenidos por satélite es fundamental para evitar cualquier interrupción en las operaciones durante la transición a esos nuevos sistemas y para asegurar que los Miembros aprovechan las nuevas capacidades lo más eficazmente y antes posible.

Las Directrices de la Comisión de Sistemas Básicos [CSB] para preparar a los usuarios para los satélites de nueva generación, aprobadas en la decimoquinta reunión de la CSB (*Informe final abreviado con resoluciones y recomendaciones de la Comisión de Sistemas Básicos* (OMM-Nº 1101), anexo I, anexo al párrafo 4.2.36 del resumen general), instan al: “establecimiento, a cargo de cada uno de los SMHN [Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales] u otras organizaciones de usuarios a nivel operacional, de un proyecto de preparación de los usuarios centrado en la introducción de nuevos trenes de datos satelitales en las operaciones (dará comienzo aproximadamente cinco años antes del lanzamiento)”.

En este contexto, el Decimoséptimo Congreso Meteorológico Mundial (celebrado en 2015), mediante la Resolución 37 (Cg-17) – Preparación para los nuevos sistemas satelitales, recomendó firmemente “a todos los Miembros interesados que establezcan proyectos de preparación de los usuarios antes del lanzamiento de los nuevos sistemas satelitales, de conformidad con las Directrices para preparar a los usuarios para los satélites de nueva generación” de la CBS.

Uno de los principales inconvenientes de la planificación de un proyecto de preparación de los usuarios es la disponibilidad oportuna de información, especificaciones y datos y herramientas utilizados para el desarrollo de sistemas satelitales. Por consiguiente, para establecer un proyecto de preparación de los usuarios es importante considerar en detalle el ciclo completo de desarrollo de un sistema satelital y su relación con la planificación de la preparación de los usuarios.

Por tanto, es fundamental que los operadores y las entidades de desarrollo de satélites proporcionen planes detallados y actualizados de las actividades que realicen en apoyo de los proyectos de preparación de los usuarios. Si bien las actividades de preparación de los usuarios son elementos explícitos de los programas actuales de desarrollo de sistemas satelitales, por ejemplo, para el Himawari-8/9 o el GOES-R, los operadores satelitales no suelen proporcionar de manera sistemática calendarios de planificación actualizados de entregables a la comunidad de usuarios.

Por este motivo, el Decimoséptimo Congreso Meteorológico Mundial (Resolución 37) también instó a “los operadores de satélites a proporcionar actualizaciones periódicas y puntuales sobre sus nuevos sistemas a través de los medios apropiados y, en particular, mediante aportaciones al SATURN [Navegador de preparación de los usuarios para los satélites] y el OSCAR”.

Por consiguiente, el Programa Espacial de la OMM ha analizado la relación entre el ciclo habitual de desarrollo de sistemas satelitales y los proyectos de preparación de los usuarios, y el resultado de ese análisis es un resumen de mejores prácticas y un calendario de proyecto genérico (que figura en el cuadro 2). El calendario genérico indica qué información debe estar disponible en qué momento desde el lanzamiento previsto para cumplir el calendario de preparación de los usuarios y respetar las limitaciones del desarrollo de sistemas satelitales.

## 2. **APLICABILIDAD**

Esta publicación presenta, de manera integrada, las mejores prácticas para los proyectos de preparación de usuarios ejecutados por las organizaciones de usuarios (por ejemplo, los SMHN),

así como para los programas de desarrollo de satélites en apoyo de la preparación de usuarios. Se incluyen definiciones y un calendario de entregables que los programas de desarrollo de satélites deberían poner a disposición de los proyectos de preparación de usuarios.

Por consiguiente, las mejores prácticas que aquí se recogen son aplicables a las organizaciones de usuarios (sección 3) y a los operadores de satélites (sección 5).

Esta publicación está destinada principalmente a Miembros del Grupo de coordinación de los satélites meteorológicos (GCSM) y de la OMM, pero la comunidad de usuarios en general puede beneficiarse igualmente de la información aquí incluida.

### 3. **ACTIVIDADES DE LOS USUARIOS PARA ESTAR PREPARADOS**

Las organizaciones de usuarios deberían realizar estas actividades para prepararse para los satélites de nueva generación.

#### 3.1 **Establecimiento de un proyecto de preparación de usuarios**

Es fundamental que la planificación empiece temprano. Esta publicación parte de la base de que los usuarios tienen que prepararse para una generación completamente nueva de satélites, de modo que el proyecto de preparación de los usuarios debe definirse 5 años antes del lanzamiento. En particular, es fundamental:

- a) definir claramente los resultados y los entregables;
- b) establecer funciones y responsabilidades claras;
- c) asegurar que se dispone de fondos suficientes para todas las actividades;
- d) establecer una planificación clara de la entrada en funcionamiento para la infraestructura actualizada y los nuevos servicios.

El proyecto de preparación de los usuarios debe ocuparse de:

- a) las nuevas capacidades y las mejoras de las capacidades existentes;
- b) la continuidad de los servicios operativos, incluido el análisis del camino crítico para la transición;
- c) el máximo aprovechamiento de los activos existentes y la protección de la inversión;
- d) maximizar el valor de servicio en todo momento durante la transición.

El proyecto también debe incluir una evaluación detallada de las oportunidades y los riesgos.

Durante la ejecución del proyecto, deberá prestarse especial atención a:

- a) responder a la necesidad de ejecutar un proyecto especializado y de contar con un administrador de proyecto (es importante la rendición de cuentas general);
- b) mantener el contacto con el operador de satélite para disponer de información actualizada;
- c) mantener una comunicación periódica con los principales administradores y partes interesadas en el proyecto (para mantener el impulso y contrarrestar la desinformación);
- d) supervisar los principales hitos del proyecto a fin de priorizar las actividades, según convenga;

- e) garantizar la disponibilidad del apoyo de gestión y el compromiso, cuando sea necesario;
- f) gestionar las expectativas en cuanto a la disponibilidad de productos nuevos.

### 3.2 **Presupuestación y planificación**

La presupuestación y la planificación son de suma importancia y deben empezar temprano. Un sistema de satélites de nueva generación puede ser, en algunos casos, el impulsor de mejoras considerables de infraestructura y de requisitos de rendimiento más exigentes en materia de adquisición, almacenamiento y redes de datos. Por tanto, la presupuestación y la planificación deberían conocerse con años de antelación a fin de incorporar las actualizaciones necesarias en los planes de inversión y la evolución a largo plazo. Deberían utilizarse plazos realistas y otras disposiciones para evitar dificultades de planificación debidas, por ejemplo, a retrasos en el lanzamiento.

Uno de los objetivos principales de una organización de usuarios es proteger la inversión hecha en programas operativos existentes y saber con antelación cuándo son necesarias o inevitables inversiones adicionales para estar preparados para el nuevo sistema de satélites. Por consiguiente, es fundamental disponer de información sobre los impulsores de la inversión de manera anticipada a efectos de la presupuestación y la planificación.

### 3.3 **Investigación y desarrollo**

En este contexto, "investigación y desarrollo" hace referencia a la fase de actividades que preparan la aplicación de datos de satélites de nueva generación desde la perspectiva del usuario. Normalmente, esta fase comprende el desarrollo de métodos de asimilación de datos de predicción numérica del tiempo (PNT) utilizando los datos de satélites de nueva generación según convenga, o el desarrollo de productos nuevos o adaptados para ámbitos de aplicación concretos, por ejemplo, por agencias como los Centros de Aplicaciones Satelitales de la EUMETSAT. Esas actividades suelen incluir análisis de los efectos de funciones de respuesta espectral de instrumentos, del campo de visión y de los modelos de transferencia radiativa utilizados para simular instrumentos. La planificación de esas actividades depende, en gran medida, del grado de novedad del instrumento. Los plazos para una versión actualizada de una serie existente pueden reducirse considerablemente y algunos pasos pueden suprimirse por completo (por ejemplo, los datos simulados). No obstante, en el caso de instrumentos completamente nuevos (por ejemplo, la sonda de infrarrojos a bordo del MTG-S), una función de respuesta espectral de primera aproximación puede ser útil con dos años de antelación a la fecha de lanzamiento y, para esos instrumentos, también serían muy útiles los datos simulados.

### 3.4 **Desarrollo y ensayos del tratamiento de datos**

Esta actividad engloba el diseño y la adquisición de nuevos sistemas de recepción satelital, así como actualizaciones del acceso a la red terrestre (Internet y la Red Regional de Transmisión de Datos Meteorológicos), necesarios para procesar mayores velocidades de datos. La actividad también incluye actualizaciones de las bases de datos de observaciones, los archivos de corto y largo plazo y las redes internas y la capacidad general de tecnología de la información para la visualización, el monitoreo y el procesamiento.

Es fundamental que la adquisición de sistemas de tratamiento de datos empiece con antelación para poder realizar ensayos completos de todos los aspectos técnicos y científicos de la cadena de procesamiento.

### 3.5 **Desarrollo y ensayos del procesamiento de datos**

Todos los aspectos del programa informático de procesamiento de las observaciones satelitales deben adaptarse y posiblemente actualizarse para dar cabida a datos del nuevo satélite. Ello puede incluir:

- a) la cadena de procesamiento local de datos de transmisión directa para productos de nivel 0 (L0) y nivel 1 (L1);
- b) la conversión de datos en formatos locales intermedios para bases de datos y archivos de observaciones;
- c) el monitoreo y la asimilación de datos en modelos de PNT;
- d) la cadena de procesamiento para la generación local de productos de mayor nivel para aplicaciones concretas;
- e) la integración en el entorno de los usuarios operativos, incluidas, por ejemplo, las aplicaciones integradas de visualización (con observaciones de satélite, de radar, en superficie y en altitud y resultados de modelos) para los predictores.

Por ejemplo, la adaptación de la asimilación de la PNT en los nuevos sistemas satelitales requiere largos períodos de preparación y tiene requisitos concretos relativos a la disponibilidad de datos de instrumentos y productos.

La planificación de esas actividades varía ampliamente según las necesidades y las capacidades de la organización de usuarios.

### 3.6 **Formación**

Habida cuenta de que existen distintos temas de formación y grupos de destinatarios, es importante definir las categorías necesarias, ya que tendrán escalas temporales distintas y requerirán niveles distintos de información sobre el nuevo sistema satelital. Las aptitudes y los conocimientos satelitales genéricos para los predictores del servicio de operaciones recomendados por la OMM deben servir de guía para las actividades de formación.

Los temas de formación definidos son:

- a) las similitudes y las diferencias con respecto a los satélites existentes;
- b) el funcionamiento y el mantenimiento del equipo;
- c) la interpretación de datos L1 de instrumentos de la carga útil del satélite, incluidos:
  - i) la interpretación de imágenes;
  - ii) el uso de datos de sondas pasivas;
  - iii) el uso de instrumentos activos;
- d) el uso de herramientas informáticas (para procesamiento, análisis y asimilación);
- e) la utilización y la interpretación de productos L2 derivados;
- f) el conocimiento de formatos de datos y su difusión;
- g) los fundamentos físicos de la teledetección, en particular en lo que concierne a nuevos instrumentos.

Los grupos de destinatarios de la formación son:

- a) formadores (mediante el enfoque de “formación de formadores”);
- b) directores de proyectos de preparación de usuarios;
- c) predictores del servicio de operaciones;
- d) comunidades de usuarios de la PNT y otros ámbitos de aplicación;
- e) directores de organización;
- f) personal de apoyo técnico;
- g) personal de investigación y desarrollo.

El enfoque para organizar la formación depende en gran medida de las necesidades y las capacidades de la organización de usuarios y de la relación institucional entre operadores y usuarios de satélites. Con el avance de la tecnología del aprendizaje electrónico, la atención se está desviando claramente de la formación en aulas planificada a largo plazo hacia la “formación justo a tiempo” basada en seminarios web y el autoaprendizaje en línea, entre otras formas de enseñanza.

Debe hacerse hincapié en la importancia cada vez mayor de las actividades de formación continua tras el lanzamiento. La formación debe abarcar condiciones meteorológicas reales críticas para todas las estaciones y debe basarse en las características reales de los sistemas satelitales. Conviene poner el acento en formatos que puedan integrarse en las operaciones en curso, por ejemplo, módulos breves de formación “sobre la marcha” de acuerdo con las necesidades para predictores del servicio de operaciones durante o entre turnos. Este enfoque se utiliza, por ejemplo, en la planificación de la formación sobre el satélite GOES-R de la NOAA (véase la figura 1), que amplía las actividades de formación de referencia a 1 o 2 años después del lanzamiento.

Los satélites en órbita geoestacionaria de nueva generación son muy similares en cuanto a instrumental (por ejemplo, similar resolución espectral, temporal y espacial de los captadores de imágenes y trazadores cartográficos de rayos). Por tanto, puede resultar muy conveniente a los usuarios y los operadores de satélites que se elabore material de formación común y se promueva el desarrollo común de aplicaciones.

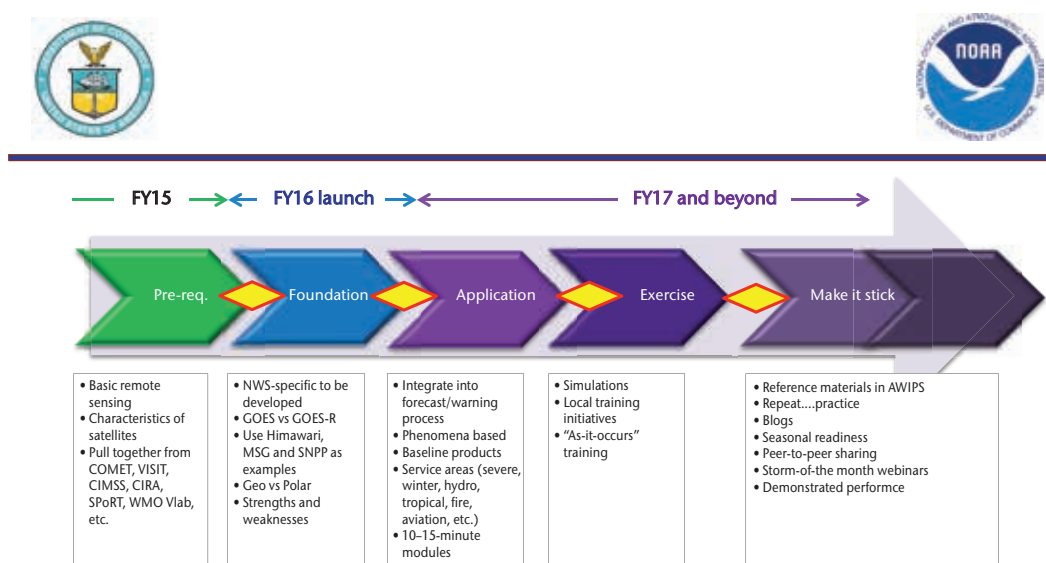


Figura 1. Plan de formación sobre el GOES-R de la NOAA

El programa de formación nacional que realiza el centro de formación del Laboratorio virtual para la enseñanza y formación en meteorología satelital (VLab) de la Oficina de Meteorología de Australia para preparar a los usuarios a nivel nacional y en la Región V de la OMM (Suroeste del Pacífico) respecto al uso eficaz de los datos del satélite Himawari-8 de nueva generación es un buen ejemplo de apoyo a la preparación de los usuarios: <http://www.virtuallab.bom.gov.au/training/hw-8-training>.

En colaboración con el VLab y el programa COMET/MetEd, el portal SATURN incluye un apartado con material de formación en línea sobre el Himawari-8 y el GOES-R, en inglés y español (cuando esté disponible). Por ejemplo, el módulo de COMET/MetEd titulado “Advanced Himawari Imager (AHI): What’s Different from GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI)” (Captador de imágenes avanzado del Himawari (AHI): diferencias con el captador de imágenes de base avanzado (ABI) del GOES-R, [http://www.met.ed.ucar.edu/satmet/himawari\\_ahi/](http://www.met.ed.ucar.edu/satmet/himawari_ahi/)) compara muy eficazmente esos dos captadores de imágenes; también hay un módulo sobre el ABI del GOES-R en español ([https://www.met.ed.ucar.edu/goes\\_r/abi\\_es/](https://www.met.ed.ucar.edu/goes_r/abi_es/)). La traducción de más material de formación está prevista y es una gran prioridad para la OMM y el VLab.

La estrategia del VLab para 2015-2019 hace especial hincapié en el desarrollo de capacidad entre los Miembros de la OMM para entender y aprovechar datos de los satélites de nueva generación. Se prevé que el VLab desempeñará una función clave en los próximos años para atender las necesidades de formación de los meteorólogos a este respecto, y será necesario el firme apoyo de los miembros del GCSM.

### 3.7 Creación de capacidad

La creación de capacidad es fundamental para que todos los Miembros de la OMM puedan aprovechar al máximo la nueva generación de datos satelitales. Esas actividades pueden realizarse en forma de asociaciones bilaterales entre los SMHN, de mecanismos regionales de colaboración, como el Grupo de expertos de la Asociación Regional (AR) I sobre difusión de información y el Foro de Usuarios en África de la EUMETSAT, del proyecto del Sistema mundial integrado de sistemas de observación de la OMM (WIGOS) de la AR II sobre la utilización de satélites, o de grandes proyectos que proporcionan infraestructura técnica y científica y formación para los países menos adelantados Miembros de la OMM (por ejemplo, los proyectos Vigilancia del medio ambiente en África para el desarrollo sostenible (AMESD) y Vigilancia del medio ambiente y la seguridad en África (MESA)).

La creación de capacidad también debería contar con la participación de la comunidad académica. Es importante asegurar que los investigadores y estudiantes participen en actividades científicas relacionadas con los nuevos instrumentos, en particular porque ello redundará en beneficio de la explotación operativa de los instrumentos a más largo plazo.

### 3.8 Contribuciones a la calibración y la validación

La participación de centros de PNT en actividades de calibración y validación de instrumentos se ha convertido en práctica habitual para satélites en órbita terrestre baja y órbita geoestacionaria. El monitoreo de las desviaciones de la “primera aproximación menos la observación” para productos L1 contribuye de manera considerable a las actividades de calibración y validación de los operadores de satélites.

## 4. FASES DE DESARROLLO DE SISTEMAS SATELITALES

En la ejecución de un programa de desarrollo de sistemas satelitales, los operadores de satélites suelen realizar las siguientes actividades, en cooperación con agencias de satélites de investigación y desarrollo y asociados del sector.

El ciclo de vida de un proyecto espacial suele dividirse en siete fases (véase la figura 2), a saber:

- a) Fase 0: análisis de la misión y definición de las necesidades
- b) Fase A: viabilidad
- c) Fase B: definición preliminar
- d) Fase C: definición detallada
- e) Fase D: certificación y fabricación
- f) Fase E: utilización
- g) Fase F: eliminación

La fase C (definición detallada) concluye con el examen de diseño crítico del satélite, momento en que la definición del sistema (segmento satelital y terreno) se habrá completado hasta el nivel más bajo, y tras el cual comenzará la fabricación final del sistema (fase D: certificación y fabricación). Si el desarrollo sigue un calendario nominal, el examen de diseño crítico del satélite se realizará tres años antes del lanzamiento. La fase E (utilización) comienza con el traslado del satélite al lugar de lanzamiento y el inicio de los preparativos de lanzamiento, y se subdivide en la fase E1 (lanzamiento y puesta en servicio), que suele durar hasta los 6 a 12 meses después del lanzamiento, y la fase E2 (operaciones corrientes).

La consecuencia más significativa de este ciclo de vida con respecto a la comunidad de usuarios es que las especificaciones y demás información del sistema puestas a disposición de la comunidad de usuarios antes del examen crítico (es decir, al final de la fase C) se basarán en los requisitos, mientras que los entregables basados en las características reales del sistema solo estarán disponibles después de ese momento, durante las fases D y E1.

Este ciclo de vida refleja la experiencia real del Meteosat de segunda generación (MSG) y del satélite de comunicaciones, oceanográfico y meteorológico (COMS), y también el estado y la planificación del GOES-R y del MTG. Existen variaciones para programas concretos; por ejemplo, la planificación del desarrollo del Himawari-8 se redujo en cierto modo: el examen de diseño crítico del satélite concluyó en enero de 2012, solo 30 meses antes del lanzamiento previsto en verano de 2014 (el satélite se lanzó satisfactoriamente el 7 de octubre de 2014).

## 5. ENTREGABLES DE LOS PROGRAMAS DE DESARROLLO DE SATÉLITES A LOS PROYECTOS DE PREPARACIÓN DE USUARIOS

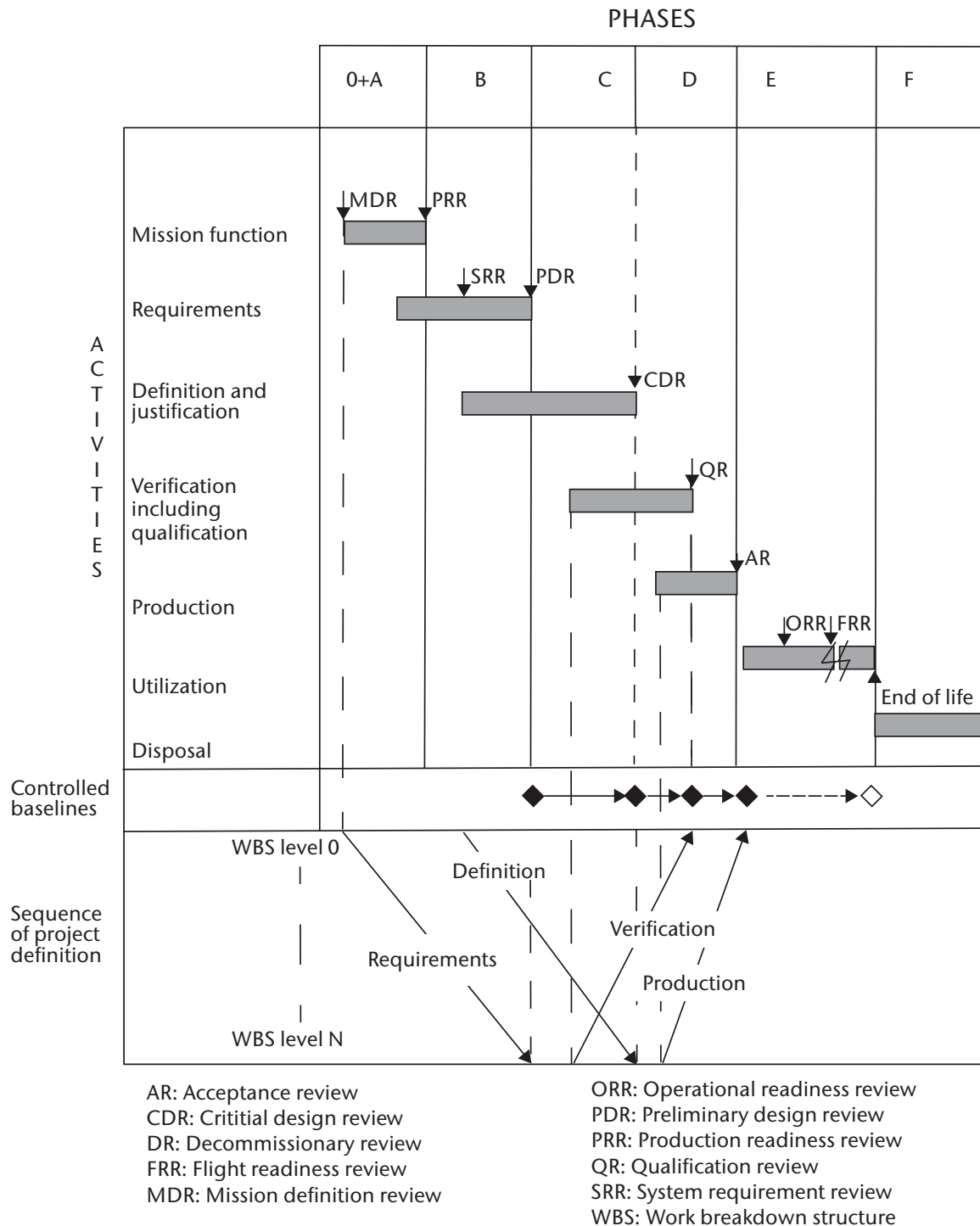
Esta parte de la publicación presenta las especificaciones de alto nivel para los distintos elementos producidos por los programas de desarrollo de satélites que deberían ponerse a disposición de los proyectos de preparación de usuarios. El calendario de entregables puede consultarse en la sección 6 (cuadro 2).

### 5.1 Calibración y caracterización de instrumentos antes del lanzamiento

Los datos de calibración y caracterización antes del lanzamiento de instrumentos satelitales de teledetección, de interés general para la comunidad de usuarios de datos de teledetección, son fundamentales para la producción de datos L1 calibrados y geolocalizados y su adaptación por aplicaciones climáticas y de PNT. La incertidumbre, reproducibilidad y estabilidad de esos datos están condicionadas por aplicaciones y requisitos de teledetección operativos y de investigación. Para instrumentos construidos o sometidos a ensayos por la industria, la facilitación de datos de ensayos antes del lanzamiento a ingenieros de sistemas, operadores de satélites y la comunidad de teledetección suele ser objeto de limitaciones contractuales.

La nueva generación de instrumentos satelitales emplea planos focales cada vez más complejos, a menudo con matrices de detectores bidimensionales y sistemas innovadores de lectura que





**Figura 2. Ciclo de vida de referencia para el desarrollo de un sistema satelital según la Cooperación Europea para la Normalización en la Esfera Espacial**

producen una gran cantidad de datos. A pesar de la creciente complejidad de los instrumentos, los ensayos de los instrumentos satelitales antes del lanzamiento deben tratar de reproducir, con la mayor precisión posible, el funcionamiento de los instrumentos en el entorno en órbita previsto. Ello también se conoce como “ensayos en vuelo real”. Los datos de calibración y caracterización generados por este ensayo aseguran que el instrumento se conoce plenamente en el momento del lanzamiento y que cumplirá los requisitos de rendimiento en órbita. Con el fin de facilitar el uso adecuado y eficiente por la comunidad internacional de teledetección, esos datos deben incluir lo siguiente:

- a) convención para el nombre y numeración de los canales y aplicación/aplicaciones científicas de los canales;
- b) función de respuesta espectral (también denominada sensibilidad espectral radiométrica relativa o absoluta):
  - i) frecuencias centrales/longitudes de onda y anchos de banda de los canales;
  - ii) sensibilidad con respecto a la longitud de onda como función de los canales (es decir, promedio) y detector;
- c) tamaño de píxel en el campo de visión (FOV) en el sentido de barrido y de la trayectoria o función de dispersión puntual (PSF) completa/función de transferencia de modulación;
- d) campo de referencia/visión instantáneo (IFOR/IFOV)/cobertura de franja, ciclo de repetición/configuración de órbita;
- e) distancia/intervalos de tiempo de muestreo de píxeles;
- f) ruido del instrumento a nivel de sistema (es decir, ruido expresado como una variación de la radiancia y de la temperatura de brillo (radiancia delta equivalente de ruido y temperatura delta equivalente de ruido, respectivamente)) como función de la temperatura del instrumento y del plano focal y del voltaje del vehículo espacial;
- g) calibración y caracterización radiométricas:
  - i) ganancia y compensación como función de la temperatura del instrumento y del plano focal;
  - ii) sensibilidad de polarización;
  - iii) resolución radiométrica, intervalo dinámico, linealidad y cuantización;
  - iv) respuesta con respecto al ángulo de barrido para radiómetros de barrido;
- h) señalamiento de instrumentos, exactitud geométrica y calibración/registro banda a banda (es decir, rendimiento geométrico);
- i) períodos de vida previstos de la misión y de los instrumentos;
- j) parámetros clave de calibradores a bordo (es decir, emisividad de cuerpo negro y uniformidad de temperatura, función de distribución de reflectancia o transmisión bidireccional espectral del difusor solar (BRDF o BTDF), y uniformidad);
- k) incertidumbres de medición previstas y reales para los datos anteriores;
- l) en todos los datos anteriores se debe indicar el nivel de madurez de la determinación de los parámetros de ensayo del instrumento. Ello se consigue indicando si los datos se determinaron mediante análisis/modelización, demostración o inspección, o mediante ensayos a nivel de parte, subconjunto, subsistema, sistema u observatorio (es decir, vehículo espacial más instrumentos).

Deberían ofrecerse datos de los ensayos realizados antes del lanzamiento para las configuraciones operacionales en órbita de instrumentos de interconexión primarias, redundantes y potenciales.

Deben establecerse mecanismos para proporcionar a los usuarios información sobre incidentes que afectan el rendimiento de los instrumentos en vuelo. Para ello, el proyecto del Sistema Mundial de Intercalibración Espacial (GSICS) coordina la implementación de los registros de incidentes de instrumentos operacionales.

## 5.2 Especificaciones de los productos

Las especificaciones de los productos incluyen especificaciones científicas de los algoritmos de los productos, especificaciones detalladas de formatos de difusión, así como peticiones a demanda, información sobre puntualidad y volúmenes de datos previstos, tanto para productos L1 como L2.

Debería utilizarse un enfoque más uniforme para la descripción de los productos L1 y L2, por ejemplo, mediante plantillas normalizadas.

Cabe señalar que la OMM ha introducido una clasificación estándar de los productos L2 en la Guía de acceso a los productos en línea ([http://www.wmo.int/pages/prog/sat/documents/SAT-GEN\\_PAG-concept-v1.0-final.pdf#10](http://www.wmo.int/pages/prog/sat/documents/SAT-GEN_PAG-concept-v1.0-final.pdf#10)).

## 5.3 Especificaciones de los mecanismos de acceso a datos

Estas especificaciones incluyen mecanismos para radiodifusión directa y para difusión de video digital y son necesarias para la adquisición de sistemas de recepción para usuarios.

Los requisitos del sistema para los sistemas de recepción de radiodifusión directa, incluidas las antenas, los sistemas informáticos y los componentes iniciales para la adquisición y el procesamiento de L1, tienen que darse a conocer a los usuarios con suficiente antelación, por lo general tres años antes del lanzamiento, para que puedan comenzar las actividades de adquisición. Los requisitos del sistema para el procesamiento son cada vez más exigentes a la luz del procesamiento complejo de datos de radiodifusión directa para la nueva generación de satélites; ello repercute considerablemente en los sistemas de los usuarios.

También son necesarias las especificaciones relativas a otros mecanismos de difusión en tiempo casi real que emplean la comunicación terrestre, así como las relativas a los mecanismos de acceso a datos sin conexión, incluidos los servicios de recuperación de archivos y otros servicios a demanda.

Cuando el acceso a productos y servicios esté sujeto al registro previo de los usuarios, habrá que describir detalladamente el proceso de registro antes del lanzamiento, de modo que los usuarios puedan registrarse durante la fase de puesta en servicio.

## 5.4 Herramientas informáticas y datos de ensayos

Para desarrollar las funciones de procesamiento de datos, los usuarios necesitan un programa informático de preprocesamiento L1, pero en muchos casos este solo está disponible a través de un operador tras la aceptación del segmento terreno. Los contratos de adquisición de sistemas de procesamiento de datos deben tener en cuenta esta necesidad para facilitar entregas tempranas.

Las herramientas informáticas también pueden ser desarrolladas por expertos de la comunidad de usuarios, pero, para una nueva generación de satélites, estas herramientas siempre dependerán de núcleos de procesamiento L1 creados en el marco del desarrollo de sistemas satelitales.

Existen distintas categorías de datos de ensayos, con distintos ciclos de vida. No se utiliza una categorización universal, pero, para los fines de la presente publicación y del portal SATURN, se utiliza la terminología siguiente:

- a) Datos sintéticos: sin valor científico, pero con tamaños y formatos realistas; empleados para ensayos de flujo de datos de usuarios.

- b) Datos simulados: datos simulados con cálculos a futuro de modelos de transferencia radiativa. Los datos simulados se utilizan para probar herramientas de procesamiento y visualización. Estos datos se producen sobre la base de resultados de modelos de PNT; por lo general, no incluyen una estructura espacial o variabilidad temporal realistas.
- c) Datos indirectos: series de datos reales procedentes de instrumentos precursores pertinentes, por ejemplo, datos de 2,5 minutos del Meteosat-10 para el FCI a bordo del MTG, datos de exploración superrápida de 1 minuto del GOES para el ABI a bordo del GOES-R, y datos del interferómetro de sondeo atmosférico en el infrarrojo (IASI)/sonda de infrarrojos atmosférica (AIRS) para el interferómetro geoestacionario de sondeo en el infrarrojo (GIIRS) a bordo del FY-4A y la sonda de infrarrojos a bordo del MTG-S. Los datos indirectos se utilizan en la formación inicial sobre capacidades y ámbitos de aplicación. También es posible utilizar datos indirectos para construir datos de ensayo similares a datos simulados añadiendo datos simulados con modelos de transferencia radiativa para canales a los ya presentes en las misiones precursoras o utilizando la interpolación en el tiempo y el espacio.
- d) Datos preoperativos: datos satelitales reales generados como parte de las actividades de puesta en servicio pero antes de que haya finalizado por completo la validación.

Los operadores deberían ofrecer todas estas categorías de datos de ensayos, utilizar la terminología de forma sistemática para describirlos y proporcionar herramientas informáticas para su uso, tanto durante el desarrollo antes del lanzamiento como durante las actividades de puesta en servicio tras el lanzamiento.

### 5.5 Planes y calendarios de operaciones

Con el fin de garantizar la preparación de los usuarios, es importante que tanto los planes a largo plazo como los programas de rutina estén disponibles antes del inicio de las operaciones. Ello incluye los siguientes elementos:

- a) un plan de vuelo para el programa general de satélites, incluidas la planificación de lanzamientos, las posiciones orbitales y las fechas de fin de vida útil y la información sobre el solapamiento con satélites operativos existentes;
- b) un calendario de operaciones de rutina, que incluya las áreas de cobertura para escenarios operativos de exploración flexible e información sobre el proceso para el cambio de escenario; por ejemplo, la activación de operaciones de exploración superrápida para el seguimiento de tormentas violentas y ciclones tropicales;
- c) si procede, las condiciones para la contribución de los usuarios al calendario de operaciones (por ejemplo, peticiones de operaciones concretas de modo especial);
- d) la planificación de actividades rutinarias de mantenimiento de vehículos espaciales, como maniobras orbitales, reorientación estacional del vehículo espacial, descontaminación de instrumentos, etc.;
- e) calendarios para la activación de la transmisión directa de satélites en órbita terrestre baja, cuando sea pertinente;
- f) calendarios para la difusión habitual de la transmisión directa y la retransmisión mediante satélites de telecomunicaciones.

En el calendario que figura en el cuadro 2 se presenta información detallada de los plazos recomendados.

## 5.6 **Notificación y respuesta de los usuarios**

Es esencial que el operador de satélites establezca canales de comunicación bidireccionales con la comunidad de usuarios para ofrecer información general y específica y para que los usuarios puedan realizar consultas y hacer observaciones durante la fase de preparación. Esos canales también son necesarios para prestar apoyo permanente a los usuarios a partir de la fase de puesta en servicio y a lo largo de la fase de operaciones de rutina.

Esa comunicación debe incluir a los mecanismos de coordinación regional de usuarios de satélites (como el Grupo de coordinación sobre las necesidades de datos satelitales de las Regiones III y IV y el Grupo de expertos de la AR I sobre difusión de la información), las conferencias regionales de usuarios (como la Conferencia de usuarios de datos de satélites meteorológicos de Asia y Oceanía) y las actividades de formación (como la semana de actividades sobre el GOES-R), además de atender las consultas y observaciones de usuarios particulares.

## 5.7 **Recursos de formación**

Para los nuevos sistemas satelitales, es fundamental proporcionar material de formación procedente de los operadores de satélites. Los recursos de formación en línea son cada vez más importantes y ofrecen la posibilidad de una adaptación dinámica cuando se disponga de nueva información sobre el satélite y sus aplicaciones. También es fundamental aprovechar al máximo las contribuciones de la comunidad de usuarios y promover los recursos de formación que proporcionen los grupos de usuarios. El VLab de la OMM y el GCSM desempeña una función clave en el desarrollo y la facilitación de material de formación en línea para usuarios de todo el mundo en distintos idiomas. En noviembre de 2015 se celebró una semana de actividades sobre la preparación para los satélites de nueva generación, a la que contribuyeron la Administración Meteorológica de China, la EUMETSAT, el Servicio Meteorológico de Japón, la Administración Meteorológica de Corea y la NOAA (las presentaciones y grabaciones pueden consultarse en el siguiente enlace: <http://www.wmo-sat.info/vlab/next-generation-of-satellites/>). El VLab tiene previsto realizar más actividades de este tipo.

## 5.8 **Otros entregables**

Para muchas aplicaciones, es importante conocer el conjunto de constantes fundamentales que se han utilizado para obtener datos y productos satelitales; los operadores de satélites deberían poner esa información a disposición de los usuarios. Está previsto que se proponga una norma común para los operadores del GCSM; por ejemplo, la lista publicada por el Instituto Nacional de Normas y Tecnologías de los Estados Unidos de América.

## 6. **CALENDARIO DEL PROYECTO DE REFERENCIA PARA LA PREPARACIÓN DE USUARIOS**

En el cuadro 2 figura el calendario general de las actividades de preparación de los usuarios y la planificación de los distintos entregables del desarrollo de los sistemas satelitales necesarios para apoyar esas actividades. Cada entregable a los usuarios en el proyecto de referencia tiene una subcategoría asociada en SATURN, de modo que el portal incluirá enlaces actualizados a todos los entregables cuando estos estén disponibles.

**Cuadro 2. Calendario del proyecto de referencia para la preparación de usuarios**

<i>Tiempo respecto de la fecha de lanzamiento (L) en años (a) o meses (m)</i>	<i>Desarrollo del sistema satelital: actividades e hitos</i>	<i>Proyecto de preparación de los usuarios: actividades e hitos</i>	<i>Entregables que deben aportar los operadores de satélites</i>
L-5a -> L-4a	Fase C: desarrollo del segmento terreno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inicio del proyecto de preparación de los usuarios (por ejemplo, SMHN)</li> <li>- Inicio de proyectos de cooperación que atiendan las necesidades de los países menos adelantados Miembros de la OMM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especificaciones generales del segmento de usuarios, incluida una definición de alto nivel de la migración desde el segmento de usuarios actual</li> <li>- Calendario preliminar de los entregables a los usuarios</li> </ul>
L-4a -> L-3a	Examen de diseño crítico del sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinación de los impulsores de la inversión y de los costos de utilización</li> <li>- Planificación y asignación de recursos humanos y presupuestos para inversiones y costos de funcionamiento</li> <li>- Establecimiento de las necesidades prioritarias en materia de datos, puesto que una buena selección de prioridades para los productos presentes y futuros proporcionará una preparación óptima para el establecimiento del acceso a los datos y las capacidades de prestación de servicios</li> <li>- Formación inicial sobre capacidades para formadores e instancias decisorias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descripción general de instrumentos</li> <li>- Descripción general de los mecanismos de difusión en tiempo casi real</li> <li>- Especificaciones detalladas de los productos L2 y L1, que deberán estar disponibles al comienzo de las operaciones (productos del día 1)</li> <li>- Datos indirectos de ensayos</li> <li>- Planes para la evolución de los productos tras el inicio de las operaciones (productos del día 2)</li> </ul>

<i>Tiempo respecto de la fecha de lanzamiento (L) en años (a) o meses (m)</i>	<i>Desarrollo del sistema satelital: actividades e hitos</i>	<i>Proyecto de preparación de los usuarios: actividades e hitos</i>	<i>Entregables que deben aportar los operadores de satélites</i>
L-3a -> L-2a	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fabricación del sistema</li> <li>- Caracterización en tierra de los instrumentos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño de un nuevo sistema de recepción</li> <li>- Diseño de cambios de la red de comunicaciones, incluida la capacidad de la Red Regional de Transmisión de Datos Meteorológicos del Sistema Mundial de Telecomunicación</li> <li>- Diseño de nuevas funciones de tratamiento y procesamiento de datos</li> <li>- Formación sobre ámbitos concretos de aplicación, basada en datos indirectos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especificaciones de los instrumentos y su rendimiento, incluidos funciones de respuesta espectral, ruido y tamaño del campo de visión previstos</li> <li>- Datos simulados de ensayos</li> <li>- Especificaciones detalladas de los mecanismos de difusión en tiempo casi real</li> <li>- Especificaciones detalladas de la transmisión directa, que incluyen la frecuencia y las características de la señal y especificaciones de equipos para antenas, componentes iniciales y sistemas informáticos para la adquisición y el procesamiento de datos de transmisión directa</li> <li>- Descripción general del acceso a los datos sin conexión</li> <li>- Volumen estimado de datos y productos</li> <li>- Definición del formato de los datos y productos</li> <li>- Constantes fundamentales utilizadas en el procesamiento</li> <li>- Condiciones de acceso a los datos (por ejemplo, licencias y unidades clave)</li> <li>- Programa informático de preprocesamiento L1 para la transmisión directa (versión preliminar)</li> <li>- Establecimiento y utilización de canales de comunicación bidireccionales para las consultas de los usuarios</li> </ul>
L-2a -> L-1a	<p>Aceptación del sistema en tierra</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adquisición, instalación y ensayos de aceptación de sistemas</li> <li>- Diseño de programas informáticos para el procesamiento de datos, incluida la introducción de la PNT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Información completa de la caracterización de instrumentos antes del lanzamiento (incluidos funciones de respuesta espectral y ruido)</li> <li>- Información sobre modelos de transferencia radiativa (por ejemplo, RTTOV*) en apoyo de los instrumentos</li> <li>- Datos sintéticos de ensayos (incluidos detalles del formato de los datos L1B, identificador de satélite, e información de navegación)</li> <li>- Continuación de los periodos de prueba de la difusión de los datos sintéticos de ensayos</li> <li>- Plan de operaciones a largo plazo</li> <li>- Planificación del intercambio de datos para atender las necesidades de la comunidad internacional</li> </ul>

<i>Tiempo respecto de la fecha de lanzamiento (L) en años (a) o meses (m)</i>	<i>Desarrollo del sistema satelital: actividades e hitos</i>	<i>Proyecto de preparación de los usuarios: actividades e hitos</i>	<i>Entregables que deben aportar los operadores de satélites</i>
L-1a -> L-6m	Preparación del satélite para el vuelo	Formación de usuarios finales (predictores)	Inicio de la actualización periódica de los planes de lanzamiento y puesta en servicio
L-6m -> L	Validación del sistema operativo y preparativos para el lanzamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pruebas del programa informático de procesamiento de datos (utilizando datos indirectos)</li> <li>- Formación técnica sobre los sistemas de recepción y otros elementos de los sistemas</li> <li>- Pruebas del sistema de adquisición de datos (utilizando datos resumidos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Datos simulados de ensayos basados en la caracterización de los instrumentos antes del lanzamiento</li> <li>- Formato de datos L2</li> <li>- Paquete informático de transmisión directa (si se dispone de esta)</li> <li>- Documentación del usuario para los mecanismos de difusión y las herramientas informáticas proporcionadas</li> <li>- Calendario de operaciones de rutina</li> </ul>
L -> L+6m	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificación del satélite en órbita</li> <li>- Puesta en servicio de productos L1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pruebas del sistema completo y de los programas informáticos (utilizando datos preoperativos)</li> <li>- Apoyo a los operadores en las actividades de calibración y validación, en particular mediante la asimilación de la PNT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difusión temprana de datos L1 no validados</li> <li>- Conexión temprana de la transmisión directa</li> <li>- Difusión de datos L1 preoperativos</li> <li>- Caracterización funcional de los instrumentos en vuelo.</li> <li>- Programa informático de preprocesamiento L1 para la transmisión directa (versión operativa)</li> <li>- Inicio del apoyo de rutina a los usuarios</li> </ul>
L+6m -> L+2a	Puesta en servicio de productos L2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explotación científica de los datos (iterativa y basada en una mayor comprensión de los datos reales)</li> <li>- Formación posterior al lanzamiento basada en datos reales</li> <li>- Declaración de la preparación operativa de los usuarios</li> </ul>	Difusión de datos L1 operativos, de satélites antiguos y nuevos (tanto tiempo como sea posible, pero como mínimo hasta L+1a)

\* RTTOV: transferencia radiativa de la TOVS; TOVS: sonda vertical operativa del TIROS; TIROS: satélite de observación de televisión en infrarrojo



Para más información, diríjase a:

## **Organización Meteorológica Mundial**

7 bis, avenue de la Paix – Case postale 2300 – CH 1211 Genève 2 – Suiza

**Oficina de comunicación y de relaciones públicas**

Tel.: +41 (0) 22 730 83 14/15 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Correo electrónico: [cpa@wmo.int](mailto:cpa@wmo.int)

[public.wmo.int](http://public.wmo.int)