

# Evolución de las telecomunicaciones satélite militares en las Fuerzas Armadas

**Autor:** Sierra García, Rafael

**Director/es:** Troncoso Pastoriza, Francisco y Núñez Ortuño, José María

Contacto: [rafael.sierra@alumnos.uvigo.es](mailto:rafael.sierra@alumnos.uvigo.es); [rsierrag2012@gmail.com](mailto:rsierrag2012@gmail.com)

---

## **Resumen:**

Por estar en su fase final de operación los dos satélites militares geoestacionarios, como [proveedor de servicios](#) de telecomunicaciones a las Fuerzas Armadas (FF.AA) españolas, en este trabajo se estudiará desde un punto de vista teórico, la evolución de las telecomunicaciones satélite militares durante la vida útil de ambos satélites identificando los [indicadores de evolución](#) más determinantes que permitan sobre un nuevo escenario basado en los [satélites de nueva generación](#) de 2025, concluir acerca de las previsiones de empleo de la [carga gubernamental](#) tanto en el Segmento Espacial como en el Segmento Terreno.

Para realizar el estudio, tras un capítulo que explicará los fundamentos de las telecomunicaciones por satélite a nivel general, en el capítulo de desarrollo, con datos adaptados al trabajo basados en las tablas de registro de autorizaciones de acceso a satélite de los satélites actuales, plantearemos cuatro [escenarios de telecomunicaciones](#) y un futuro quinto escenario de telecomunicaciones con los próximos satélites de nueva generación. Posteriormente, los datos de empleo registrados en los escenarios actuales los trataremos y, según unas premisas, de información obtenida, extraeremos los indicadores más determinantes que, comparados entre sí, contribuirán a proyectar la evolución de empleo en el escenario futuro.

Finalmente, completaremos las conclusiones del estudio, añadiendo algunos otros aspectos identificados a lo largo del trabajo, relativos a las mayores funcionalidades de los satélites de nueva generación y al proceso de evolución de las redes a la [Infraestructura Integral de Información para la Defensa \(I3D\)](#).

**Palabras clave:** proveedor de servicios, indicadores de evolución, satélites de nueva generación, carga gubernamental, escenarios de telecomunicaciones, Infraestructura Integral de la Información para la Defensa (I3D)

---

## **1. Introducción**

España en 1989 inició el camino para disponer de su propio sistema de telecomunicaciones por satélite militares al principio de la década de los 90, a través del programa del Sistema Español de Comunicaciones Militares Satélite (SECOMSAT) para garantizar la extensión de las comunicaciones

nacionales a zonas de interés estratégico y operativo, adquiriendo elevada experiencia y desarrollo tecnológico a nivel empresarial y profesional.

Tras casi 30 años de experiencia en este campo, actualmente está en fase final de explotación la segunda generación de satélites con carga gubernamental:

- El satélite XTAR-EUR (29E), en órbita desde el 12 de febrero de 2005 y en operación desde marzo del mismo año.
- El satélite SPAINSAT (30W), en órbita desde el 11 de marzo de 2006, y en operación desde abril del mismo año).

Próximos a finalizar su vida útil, nos encontramos en un momento clave de diseño y desarrollo de los satélites militares SPAINSAT de Nueva Generación (NG) I y II que sustituirán a los actuales SPAINSAT y XTAR-EUR respectivamente (HISDESAT, s.f.).

Paralelamente, en base a la Política CIS/TIC del Ministerio de Defensa, las FF.AA están inmersas en un proceso de evolución de las telecomunicaciones y los sistemas de información hacia una Infraestructura Integral de Información para la Defensa (I3D) que también afectará al escenario de telecomunicaciones por satélite (Ministerio de Defensa, 2015).

### 1.1. Objetivo

Como proveedor de servicios de telecomunicaciones satélite militares en carga gubernamental del Ministerio de Defensa, definir desde un punto de vista teórico el escenario de telecomunicaciones aplicable a los satélites de nueva generación, identificando los indicadores de evolución más determinantes derivados de escenarios anteriores que nos permitan concluir a cerca de las previsiones de empleo de la carga gubernamental tanto en el segmento espacial como en el segmento terreno.

### 1.2. Fundamentos

Las telecomunicaciones por satélite se remontan a 1960 utilizando la luna como repetidor de señal pasivo, y marcando el inicio del desarrollo de los primeros sistemas satélite, a nivel general y militar en particular, hasta nuestros días.

Es en la Conferencia mundial de 1963 cuando, por parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), se reguló por primera vez este nuevo campo de las comunicaciones (Escuela de Especialidades Antonio Escaño, Curso de especialización TCI PE-TCI.601-(B)).

Como denominador común, la arquitectura se basa en la existencia de los segmentos espacial y terreno para todo tipo de misiones, y de un tercer segmento de usuario para los sistemas satélite de radiodifusión y radionavegación.

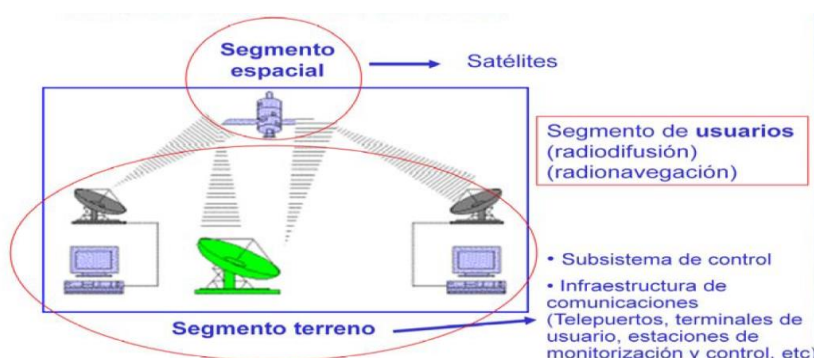


Figura 1 Segmentos de un sistema satélite (UPM, ETSI, Máster en Sistemas de Comunicación e Información para la Seguridad y la Defensa , 2013)

El segmento espacial, está constituido por el satélite o conjunto de satélites de la misión y por los Centros de Control del Satélite. Aunque forman parte del segmento espacial, los Centros de Control del Satélite están desplegados en tierra para las funciones de seguimiento, recepción de la telemetría y comando del satélite o satélites según la misión de la que se trate.

Forman parte del segmento terreno las estaciones de telecomunicaciones de los usuarios, las estaciones de anclaje o telepuertos y, cuando el servicio requiera gestión especializada del tráfico y de los accesos, los Centros de Control de Red.

Se trata de enlaces digitales a través de satélites en órbita geoestacionaria con transpondedores<sup>1</sup> transparentes que retransmitirán en enlace descendente a tierra los enlaces enviados al satélite por las estaciones de comunicaciones transmisoras del segmento terreno (enlace ascendente).

Por ser enlaces de naturaleza digital, al hablar de las estaciones de comunicaciones, en el trabajo se exponen brevemente los procesos aplicados a la señal analógica y digital en las “cadenas” de transmisión y de recepción, encuadrándose en subsistemas de: alta frecuencia, frecuencia intermedia, banda base, monitorización y control, y resto de subsistemas ligados a la infraestructura.

Para finalizar, además de unas nociones de propagación de los enlaces satélite, se enumeran y explican brevemente las técnicas de acceso múltiple aplicables. A destacar, los enlaces con preasignación de recursos de frecuencia portadora (SCPC<sup>2</sup>), clásicamente empleada en los enlaces militares SECOMSAT, y las técnicas de acceso múltiple de asignación bajo demanda (DAMA).

## 2. Desarrollo

Aplicando las nociones que se indicaron en 1.2, en el trabajo, modificando algunos parámetros que pudieran ser sensibles, se describe el “potencial” de los segmentos espacial y terreno del sistema actual y futuro relativo a la capacidad o carga gubernamental<sup>3</sup> asociada al Ministerio de Defensa para su gestión y operación por parte del Centro de Sistemas de Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones (CESTIC) como proveedor de comunicaciones a través de los satélites militares a los ámbitos.

Para ser “precisos”, por haber modificado algunos parámetros, a lo largo del trabajo los satélites SPAINSAT y XTAR-EUR pasan a denominarse “Atlántico” e “Índico” y, los futuros SPAINSAT NG I y II, “Atlántico NG” e “Índico NG” respectivamente.

En paralelo, para hacer un estudio predictivo del empleo de los futuros satélites militares, del periodo de explotación de los actuales, se extraen datos de hasta 22691 entradas de autorizaciones con 14 campos cada una y se maneja información de hasta 842 entradas de tipos de terminales. Una vez tratados y depurados los datos, eliminando duplicidades y los no aplicables, los datos quedaron reducidos a 20700 entradas de 14 campos relativas a autorizaciones satélite y 596 entradas relativas a terminales o también llamados estaciones de comunicaciones.

---

<sup>1</sup> Transpondedor: unidad básica sobre las que se construyen las cargas útiles de comunicaciones para la amplificación y la transposición de frecuencia (UPM, EUIT DE TELECOMUNICACIÓN, 2008)

<sup>2</sup> Single Channel Per Carrier (SCPC): acceso a satélite mediante preasignación permanente o semipermanente de una frecuencia portadora a las estaciones transmisoras (UPM, EUIT DE TELECOMUNICACIÓN, 2008).

<sup>3</sup> Carga gubernamental o capacidad gubernamental: capacidad asignada al Ministerio de Defensa de forma temporal o permanente para el establecimiento de enlaces satélite militares (Ministerio de Defensa, EMAD, JESEMAD (CGS), 2005).

Posteriormente, teniendo en cuenta el potencial de cada segmento actual y futuro y con todos los datos de empleo disponibles, bajo las siguientes premisas, se procederá a identificar los escenarios de telecomunicaciones, y a sentar las bases de estudio/ análisis predictivo posterior.

Las premisas relativas a los satélites actuales son las siguientes:

- Se consideran los escenarios desde el año 2006 por ser el año a partir del cual el segmento espacial estaba constituido por los dos satélites Atlántico e Índico en operación.
- Se considera que ambos satélites estarán operativos hasta su sustitución por los satélites de nueva generación.
- Por ser SCPC el principal método de acceso múltiple empleado, para determinar los niveles de ocupación de cada canal de los satélites en ancho de banda, en cada escenario se aplicará la modulación y codificación más representativa en SCPC.
- El nivel de consumo de potencia en el canal se considerará proporcional y equilibrado con el consumo de ancho de banda.
- Se considerarán enlaces permanentes aquellos cuya ventana de enlace sea superior a medio año. Suelen ser enlaces de destacamentos de zona de operaciones o de infraestructura de red. El resto de enlaces tendrán consideración de temporales.
- Los accesos múltiples con asignación dinámica DAMA se tratan meramente como subredes definidas por un ancho de banda y potencia, sin profundizar en los detalles técnicos que les caracteriza.
- La información de base de cada uno de los escenarios, ha sido recopilada del registro de autorizaciones de acceso a satélite del CGS desde el 2006 al 2021, habiendo sido tratada para su uso didáctico sin alterar la información que es de interés para cumplir con el objetivo de este trabajo (Ministerio de Defensa, SEDEF CESTIC, 2016 a 2021) (Ministerio de Defensa, EMAD JESEMAD (CGS), 2006 a 2016).

Las premisas aplicadas al escenario de nueva generación:

- Se considera que se cumplen las previsiones de puesta en órbita y entrada en operación de los dos satélites en 2025.
- Definiremos coberturas similares a las proporcionadas por los satélites Atlántico e Índico, siendo conservadores a la hora de prever nuevos escenarios de despliegue en todas las bandas, designando como:
  - o FIJA, a la cobertura de los transpondedores asociados a los canales C1-C1 de los satélites actuales o a la cobertura regional de banda X y al spot de Ka orientado al centro de España en los satélites de nueva generación.
  - o MÓVIL 1, a los transpondedores aplicados a los canales con cobertura móvil C2 en alguno de los enlaces ascendente o descendente de los satélites actuales, o similar en los satélites de nueva generación.
  - o MÓVIL 2, a los transpondedores aplicados a los canales con cobertura móvil C3 en alguno de los enlaces ascendente o descendente de los satélites actuales, o similar en los satélites de nueva generación.
  - o GLOBAL, cuando alguno de los enlaces ascendentes o descendentes es del global G1 de los satélites actuales o global en banda X, semiglobal en banda Ka y global en UHF en los satélites de nueva generación.
- Se considerará SCPC como el principal método de acceso múltiple empleado en las bandas X y Ka, y, si fuera necesario, para determinar los niveles de ocupación de cada canal de los satélites en ancho de banda, según corresponda, se aplicará la modulación y codificación más representativa del escenario 4 por ser el escenario actual y más próximo al escenario futuro.

- El nivel de consumo de potencia en el canal se considerará proporcional y equilibrado con el consumo de ancho de banda.
- Los accesos múltiples con asignación dinámica DAMA se seguirán tratando meramente como subredes definidas por un ancho de banda y potencia, sin profundizar en los detalles técnicos que les caracteriza.
- Para poder hacer previsiones en base a los datos de empleo, se plantea un modelo continuista en cuanto a las tecnologías de banda base existentes en las estaciones de anclaje y en las estaciones de comunicaciones.

### *2.1. Escenarios de telecomunicaciones*

Los escenarios de telecomunicaciones que finalmente se identifican, en función del potencial de los segmentos satélite y terreno a lo largo de la vida útil de los dos satélites en operación son:

- Escenario de telecomunicaciones número 1. Desde el 1 de enero de 2006 al 31 de diciembre de 2006. Predominio del modo de acceso SCPC. También se dispone del modo de acceso DAMA CDMA (DAMA FAS<sup>4</sup>). Los terminales se integran con banda base TDM de 1990. Solo se emplea la banda X polar.
- Escenario de telecomunicaciones número 2. Desde el 1 de enero de 2007 al 31 de diciembre de 2009. Predominio del modo de acceso SCPC. Continúa el modo de acceso DAMA CDMA (DAMA FAS), y se incorpora la UME con el sistema DAMA FDMA (VIPERSAT). Los terminales se integran con banda base TDM de 1990 y TDM Fleximux. Solo se emplea banda X.
- Escenario de telecomunicaciones número 3. Desde el 1 de enero de 2010 al 23 de abril de 2021. Predominio del modo de acceso SCPC. Sigue DAMA CDMA (DAMA FAS) y DAMA FDMA (VIPERSAT) y se suma DAMA TDMA (iDirect). Se extiende y afianza el empleo de terminales con tecnología IP. Se emplea la banda X y la banda Ka.
- Escenario de telecomunicaciones número 4. Desde el 24 de abril de 2021 hasta el fin de la vida útil. Segmento espacial basado en la totalidad de la carga útil de los dos satélites. Predominio de modo de acceso SCPC y con accesos DAMA CDMA (DAMA FAS) y DAMA FDMA (VIPERSAT) y DAMA TDMA (iDirect). Se empiezan a probar los pilotos de I3D apoyándose en la tecnología IP de los terminales y de las estaciones de anclaje. Se emplea la banda X y la banda Ka.

Sobre cada escenario, en el trabajo quedan reflejados todos los detalles de las capacidades por segmento espacial y terreno, la tecnología de los subsistemas y las medias de empleo diarias según diversos conceptos como: el número de enlaces, las velocidades binarias de enlace, la tecnología de banda base empleada, los tipos de acceso DAMA o SCPC, el carácter temporal o permanente de los enlaces, los enlaces contra estaciones de anclaje o intrateatro<sup>5</sup>, las bandas de frecuencia de acceso en X o Ka, el desglose de terminales y datos anteriores por ámbito<sup>6</sup> que establece el enlace, desgloses por coberturas.

---

<sup>4</sup> DAMA FAS: acceso bajo demanda de terminales ligeros de la Armada/ Tercio de la Armada, Ejército de Tierra y Ejército del Aire en voz o datos a velocidades de 8 Kbps a 64 Kbps máximo.

<sup>5</sup> Intrateatro: enlace satélite establecido entre dos estaciones de comunicaciones de usuario sin pasar a través de estación de anclaje o telepuerto.

<sup>6</sup> Ámbito: conjunto de usuarios del sistema agrupados por Armada/Tercio de la Armada, Ejército de Tierra, Ejército del Aire, Red y Unidad Militar de Emergencias.

El escenario de telecomunicaciones número 5, se define desde el momento en que se alcance la capacidad de operación completa de los dos satélites NG. Para ello, previamente, las estaciones de anclaje habrán evolucionado al menos los recursos mínimos necesarios de todos sus subsistemas para permitir, cada una, el anclaje de las estaciones de comunicaciones en las tres bandas: X (en polar y contrapolar), Ka y UHF a través de los dos satélites de nueva generación.

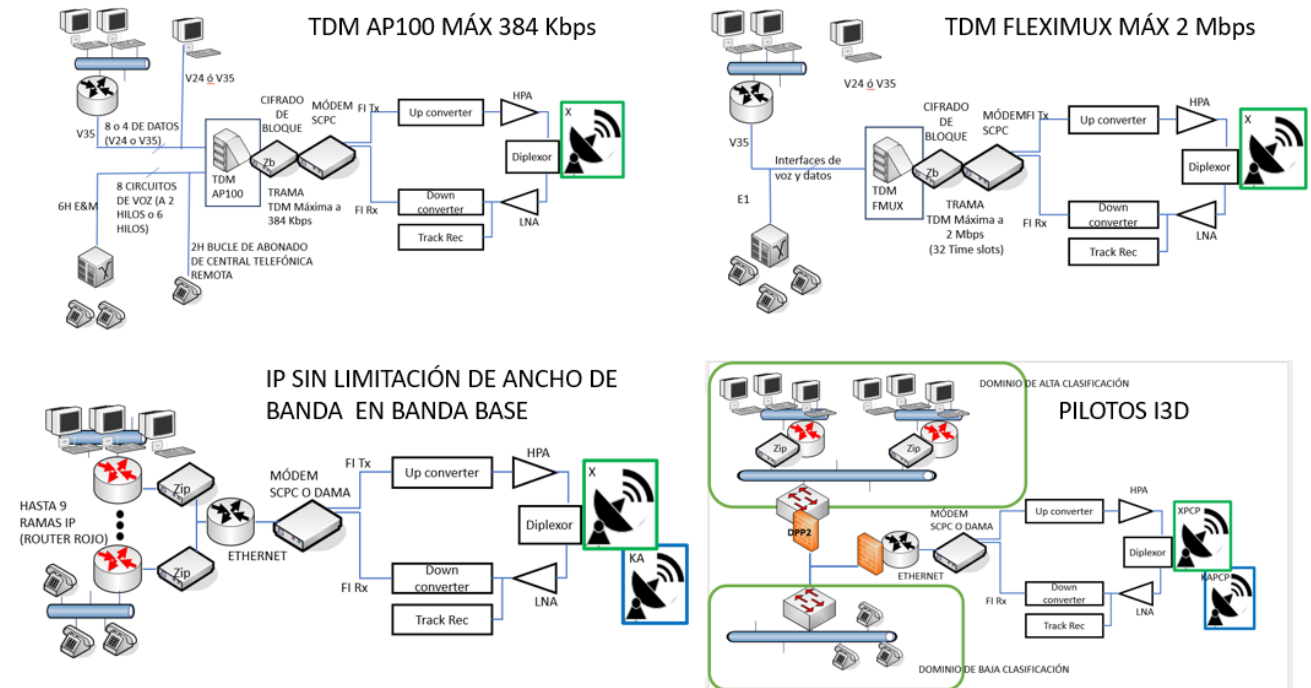


Figura 2 Arquitectura de las estaciones de comunicaciones según la tecnología de banda base (elaboración propia)

### 3. Resultados

Para hacer el análisis predictivo de empleo en el escenario de telecomunicaciones número 5, aplicando una función de tendencia lineal donde sea preciso, en el capítulo 4 se presenta la información en tablas y gráficos, según los siguientes apartados:

- Número de autorizaciones de acceso satélite anuales registradas hasta septiembre de 2021.
- Evolución del espectro disponible en carga gubernamental para cada banda X, Ka y UHF.
- Volumen de enlaces medios diarios en carga gubernamental.
- Velocidad binaria media diaria de los enlaces SCPC en carga gubernamental.
- Porcentajes medios diarios de ocupación del espectro.
- Número de enlaces SCPC medios diarios según terminal destino.
- Número de enlaces SCPC medios diarios contra estaciones de anclaje según tecnología de banda base.
- Empleo medio diario de la tecnología de banda base SCPC por ámbitos.
- Recursos medios diarios asociados a subredes DAMA en estaciones de anclaje según su tecnología de acceso.
- Evolución de las estaciones de comunicaciones según su banda de frecuencias.
- Evolución de las estaciones de comunicaciones según su modo de acceso al satélite.

Para analizar la tendencia creciente/ decreciente y las estimaciones de capacidad, del análisis que se realiza se extraen hasta 88 indicadores de evolución en una matriz de resultados que apoyará a las conclusiones y líneas futuras del trabajo.

#### 4. Conclusiones

Aplicando el modelo continuista sobre las capacidades en banda X y Ka, mientras predominen los enlaces SCPC como el principal método de acceso a los satélites NG, se registrarán valores anuales de autorizaciones de enlace similares a los ya registrados desde el año 2013 en el escenario 3 (entre 1500 y 1600). Este modo de acceso podría cambiar su tendencia conforme se incremente el empleo de subredes DAMA del tipo FDMA (VIPERSAT) en la UME o DAMA TDMA (iDirect) en el resto de ámbitos.

En las coberturas regionales/ fijas, la ocupación de ancho de banda seguirá siendo superior a la ocupación del resto de las coberturas móviles o global de los satélites.

Las velocidades binarias medias diarias de los enlaces SCPC muestran una clara tendencia creciente en las bandas X y Ka (600 Kbps en banda X, 2,7 Mbps en banda Ka). Potenciará su crecimiento en ambas bandas el disponer de: dos satélites con capacidades gubernamentales similares desde el principio, el incremento de las coberturas definibles, y el mayor espectro de la banda X en polar y contrapolar multiplicando por 4 la capacidad de los tres primeros escenarios, y por 34 la de la banda Ka.

Hay una tendencia creciente a la ocupación de los recursos satélite de forma permanente (de más de medio año de duración) frente a enlaces satélite con asignación de recursos de forma temporal.

Desaparecerá la tecnología TDM sobre multiplexores AP100, y el ritmo de evolución de los terminales hacia la arquitectura I3D, determinará el ritmo de reducción de los enlaces TDM sobre Fleximux.

La banda UHF, igual que en su momento lo fue la banda Ka en los satélites actuales, es novedosa. Se empleará para establecer mallas radio semidúplex a bajas velocidades con cobertura global. Deberá determinarse qué arquitectura basada de enlaces SCPC o DAMA deberá aplicarse en función de las necesidades operativas de las unidades.

Paralelamente, para llegar al escenario de telecomunicaciones futuro número 5, el segmento terreno deberá evolucionar: las estaciones de anclaje para disponer de capacidades a través de los dos satélites NG: en banda UHF, Ka y X contrapolar, y el Sistema de Control y Supervisión de Red (COSRED) del Centro de Control de Red bajo la dirección del CESTIC, para automatizar los procesos que le permitan aplicar a través del Centro de Control del Sistema las nuevas funcionalidades ofrecidas por los satélites NG relativas a:

- Aplicar la mayor flexibilidad en la configuración de coberturas y en la asignación de potencia a las bandas X y Ka.
- Aplicar la mayor flexibilidad de asignación y distribución del espectro de frecuencias incluyendo la reutilización de frecuencias en diferentes coberturas (SDMA) en las bandas X y Ka.
- Autorizar y aplicar el establecimiento de enlaces entre estaciones de comunicaciones distribuidas en coberturas no convencionales mediante beam-hopping en banda X.
- Solicitar la geolocalización de interferencias en tierra en la banda X.

- Aplicar la inhibición de frecuencias interferentes en banda X y Ka.
- Aplicar la generación de nulos “nulling” en banda X.
- Autorizar y aplicar la difusión de información mediante multicast para retransmitir la señal de enlace ascendente de un canal por varios canales de enlace descendentes simultáneamente en las bandas X y Ka.
- Solicitar el servicio de obtención de datos de monitorización del espectro de los enlaces ascendentes y descendentes de cualquiera de las tres bandas.
- Autorizar y habilitar la aplicación de Cross-banding entre enlaces ascendentes y descendentes de las bandas X y Ka.

### **Agradecimientos**

A mis directores del trabajo de fin de máster por su disponibilidad y asesoramiento.

A mi unidad ACETEL de la DIVOPER del CESTIC con su coronel, mis comandantes, capitanes, subtenientes e ingeniero de ISDEFE. Su apoyo incondicional ha sido fundamental.

A mi familia, mi motivación constante.

### **Referencias**

- Escuela de Especialidades Antonio Escaño, Curso de especialización TCI PE-TCI.601-(B). (s.f.). *Comunicaciones por Satélite*. Escuela de Especialidades Antonio Escaño.
- HISDESAT. (s.f.). *PROGRAMA SPAINSAT NG*. Obtenido de [https://www.hisdesat.es/wp-content/uploads/2021/11/SPAINSAT-NG\\_ES.pdf](https://www.hisdesat.es/wp-content/uploads/2021/11/SPAINSAT-NG_ES.pdf)
- Ministerio de Defensa. (2015). Política CIS/TIC del Ministerio de Defensa .
- Ministerio de Defensa, EMAD JESEMAD (CGS). (2006 a 2016). Registro de Autorizaciones de Acceso a Satélite.
- Ministerio de Defensa, EMAD, JESEMAD (CGS). (2005). Presentación SECOMSAT.
- Ministerio de Defensa, SEDEF CESTIC. (2016 a 2021). Registro de Autorizaciones de Acceso a Satélite.
- UPM, E. D. (2008). Programa de postgrado en comunicaciones por satélite 2008 (10ª edición), Segmento terreno (Tomo 2).
- UPM, ETSI, Máster en Sistemas de Comunicación e Información para la Seguridad y la Defensa . (2013). COMUNICACIONES, LOCALIZACIÓN Y RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE.
- UPM, EUIT DE TELECOMUNICACIÓN. (2008). Programa de postgrado en comunicaciones por satélite 2008 (10ª edición), El enlace satélite (Tomo 3).
- UPM, EUIT DE TELECOMUNICACIÓN. (2008). Programa de postgrado en comunicaciones por satélite 2008 (10ª edición), Segmento espacio (Tomo 1).