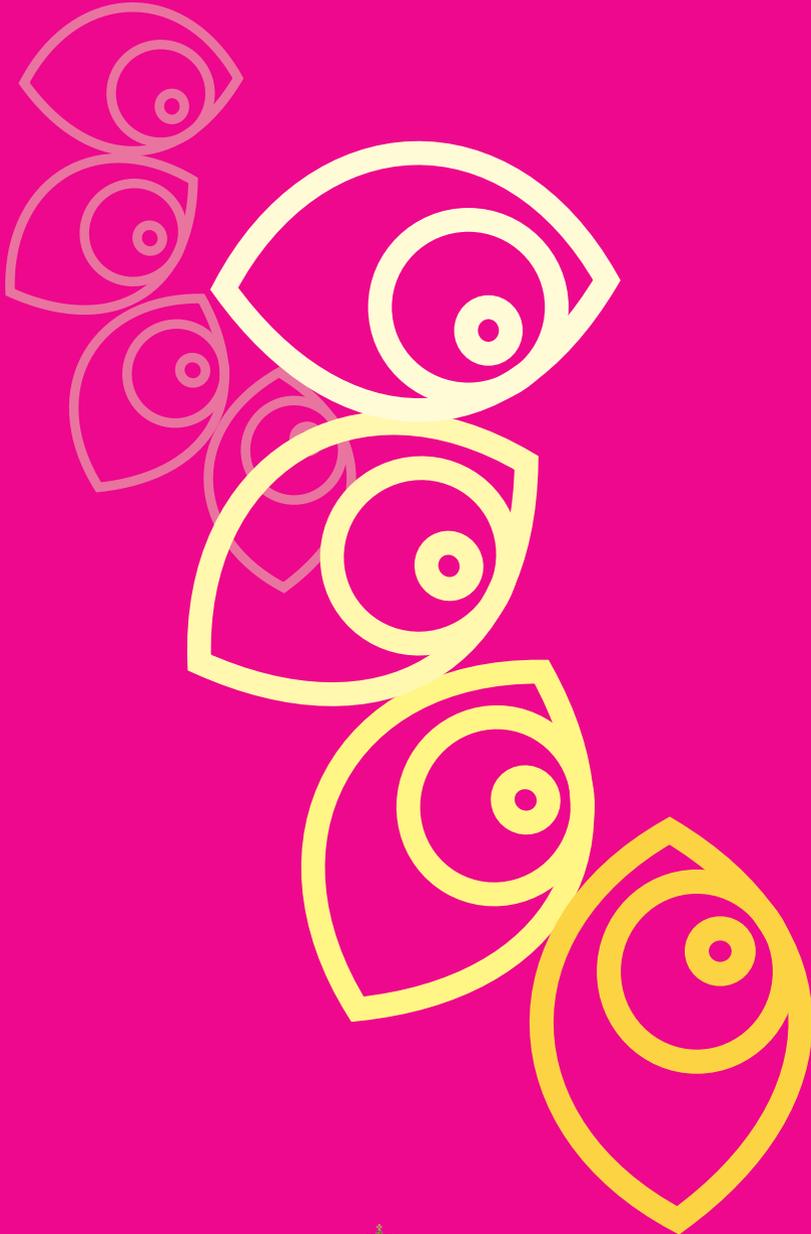


02

Monografías del SOPT

La Guerra electrónica
en España



MINISTERIO DE DEFENSA

02

Monografías del SOPT

La Guerra electrónica
en España



www.mde.es/dgam/observatectoF.htm
observatecno@oc.mde.es



MINISTERIO DE DEFENSA

CATÁLOGO GENERAL DE PUBLICACIONES OFICIALES
<http://www.060.es>

Edita:



NIPO: 076-09-189-2 (edición en papel)

Depósito Legal: M-42300-2009

Imprime: Imprenta del Ministerio de Defensa

Tirada: 400 ejemplares

Fecha de edición: Octubre, 2009

NIPO: 076-09-190-5 (edición en línea)



SUMARIO

PRÓLOGO	5
1. INTRODUCCIÓN	7
2. ANTECEDENTES	11
3. ASPECTOS GENERALES DE LA GUERRA ELECTRÓNICA ..	15
4. HISTORIA Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA GUERRA ELECTRÓNICA EN ESPAÑA	25
5. TENDENCIA FUTURAS EN GUERRA ELECTRÓNICA	65
ANEXO I. Lista de acrónimos y siglas	109
ANEXO II. Documentación de referencia	115
ANEXO III. Espectro electromagnético	121
ANEXO IV. Enlaces de interés	125

PRÓLOGO

La presente Monografía ha sido realizada por el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT) de la Subdirección de Tecnología y Centros (SDG TECEN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM).

Quiero felicitar a todos los que han hecho posible esta Monografía, y en concreto a los técnicos del Observatorio Tecnológico de Electrónica, Yolanda Benzi Rabazas y Fernando Iñigo Villacorta, por su dedicación y esfuerzo. También, extender este agradecimiento a Alberto Ezpondaburu Marco y al resto de colaboradores del Observatorio Tecnológico de Electrónica, además de al resto de miembros del SOPT, que han contribuido a que podamos tener hoy este trabajo en nuestras manos.

Además, desde aquí quiero dar las gracias a INDRA, EADS-CASA, GMV, IECISA, TELEFÓNICA SOLUCIONES, TECNOBIT, SIMAVE, DAS PHOTONICS, el Grupo de Microondas y Radar (GMR) de la UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, el Grupo de Antenas de la UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA y la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA por la información aportada a esta Monografía.

C.F. Ing. JOSÉ MARÍA RIOLA RODRÍGUEZ
Jefe del SOPT

*Subdirección General de Tecnología y Centros
Dirección General de Armamento y Material*



SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

1. INTRODUCCIÓN

El objeto de esta monografía es presentar una visión general del desarrollo de la industria de Guerra Electrónica (GE) en España. Para ello, se realizará un recorrido por su historia, resaltando los principales logros conseguidos. Además, se describirá el estado actual de la tecnología, señalando las principales iniciativas y programas en marcha, así como los principales actores nacionales en GE (centros de investigación de defensa, industrias, universidades, etc.). Finalmente, se presentarán las tendencias futuras en el campo de la Guerra Electrónica, así como los retos tecnológicos que serán necesarios superar para conseguir las capacidades operativas que demandarán estos sistemas en el futuro.

Entre las fuentes utilizadas para la elaboración de esta monografía destacan la información disponible en la Subdirección General de Tecnología y Centros (SDG TECEN) sobre programas finalizados, programas en curso y previsiones futuras, tanto a nivel nacional como internacional (programas de la OTAN y programas europeos) (1), así como la información aportada por las distintas empresas y universidades españolas que trabajan en este sector.

Esta monografía no está clasificada. Por otro lado, dado su carácter divulgativo, no se ha profundizado en la descripción de las distintas tecnologías que forman parte de estos sistemas, por lo que para obtener una información más completa será necesario acudir a las referencias que se incluyen en los anexos.

La monografía se estructura en los siguientes apartados:

- 1. Introducción. Presentación general de la monografía.
- 2. Antecedentes. Cómo se enmarca el trabajo dentro de las actividades de los Observatorios Tecnológicos de la SDG TECEN.
- 3. Aspectos generales de la Guerra Electrónica.

(1) Debido a que el mayor esfuerzo inversor realizado por la SDG TECEN ha sido en el campo de GE de no comunicaciones, se observará que la monografía recoge una mayor cantidad de información en este campo que en GE de comunicaciones.

- 4. Historia y situación actual de la Guerra Electrónica en España: recorrido por los desarrollos realizados por la industria española en el marco de contratos del MINISDEF, hitos principales conseguidos, actores principales y programas en curso.
- 5. Tendencias futuras en Guerra Electrónica.
- ANEXOS. Contienen información complementaria (lista de acrónimos y siglas, documentación de referencia, espectro electromagnético y enlaces de interés).



SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

2. ANTECEDENTES

Dentro de los Objetivos establecidos para el presente año, el Observatorio de Electrónica, perteneciente a la Unidad de Observatorios Tecnológicos, se ha planteado la elaboración de un Estudio Monográfico sobre el estado actual y futuro de la GE en España.

Dicho estudio tiene como finalidad dar a conocer a la comunidad científica y técnica el estado del arte de la GE en España.

La Unidad de Observatorios Tecnológicos forma el núcleo del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT) de la Subdirección General de Tecnología y Centros (SDG TECEN). Esta Subdirección estableció el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica en el año 2003 con el objetivo de concentrar y difundir el conocimiento tecnológico y de investigación disperso en el Ministerio de Defensa de modo que actúe como un cuerpo de conocimiento integrado aportando criterio técnico armonizado al Ministerio de Defensa. Entre otras, el SOPT realiza las siguientes actividades:

- Vigilancia tecnológica de manera continuada y sistemática.
- Prospectiva tecnológica.
- Priorización de tecnologías y áreas tecnológicas de interés para la Defensa.
- Apoyo al planeamiento y planificación de las actividades de I+D.
- Gestión del conocimiento.
- Asesoramiento técnico en la obtención de sistemas con alto contenido tecnológico

Obtención y mantenimiento de información actualizada sobre la DTIB (Defence Technology Industrial Base) tecnológica y de investigación, susceptible de emplearse en programas de Defensa.

El Sistema tiene estructura de red formada por nodos (fig. 2-1), denominados Observatorios Tecnológicos, organizados en áreas específicas de conocimiento. En la actualidad están en funcionamiento los Observatorios de Armas, Municiones, Balística y Protección; Electrónica; Energía y Propulsión; Defensa NBQ; Materiales; Óptica, Optrónica y Nanotecnología; Sistemas Terrestres y Navales; Tecnologías de la Información,

Comunicaciones y Simulación; UAVs, Robótica y Sistemas Aéreos, más un Nodo Gestor que coordina, gestiona y apoya el funcionamiento de los observatorios, realiza la vigilancia tecnológica y lidera y coordina actividades conjuntas en organismos internacionales.

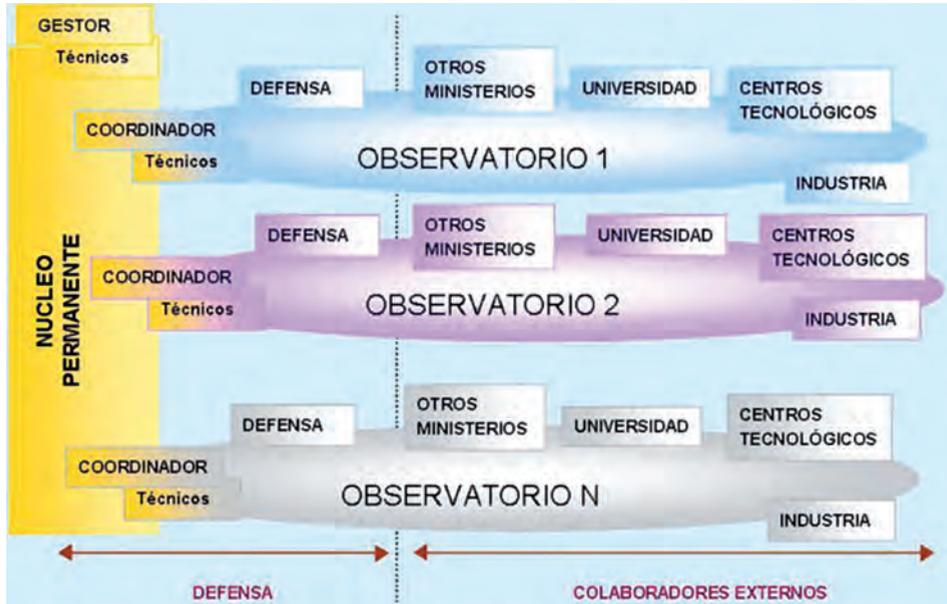


Figura 2-1. Representación esquemática de la estructura del SOPT (Fuente: Ministerio de Defensa).



SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

3. ASPECTOS GENERALES DE LA GUERRA ELECTRÓNICA

Existe mucha literatura escrita sobre la GE. Parte de esta literatura, así como diversos enlaces a páginas web de interés, se listan en los anexos II y IV (2) del documento. En este apartado se realizará únicamente una introducción general a la GE, pudiendo consultarse los detalles y particularidades de los diferentes sistemas en las referencias anteriormente mencionadas.

3.1. Definición

La energía electromagnética se propaga en forma de radiación, formada por la oscilación ortogonal de campos eléctricos y magnéticos. El espectro se divide en bandas, designadas alfabéticamente, que abarcan desde las frecuencias que se utilizan en las telecomunicaciones submarinas por radio a larga distancia, pasando por las bandas de radiodifusión, televisión, radar, radiación infrarroja, luz visible, radiación ultravioleta, rayos X, y finalizando con los rayos gamma y los rayos cósmicos (ver anexo III)

El término GE se refiere principalmente al control del espectro electromagnético en tres vertientes (3):

- Análisis del espectro electromagnético para determinar las fuentes de emisión, comúnmente denominado medidas de apoyo electrónico (ESM o ES).
- Acciones para evitar la utilización del espectro, comúnmente denominadas contramedidas electrónicas (ECM o EA).
- Acciones para eludir las contramedidas electrónicas, comúnmente denominadas medidas de protección electrónica (EPM o EP).

(2) La información del anexo IV se ha obtenido del portal de Internet SIWEB del MINISDEF.

(3) Existen dos propuestas de abreviaciones para los sistemas de GE:

Tradicional, en la que se utiliza la nomenclatura «medidas de apoyo electrónico» (ESM), «contramedidas electrónicas» (ECM) y «medidas de protección electrónica» (EPM. Anteriormente se denominaba contra-contramedidas electrónicas o ECCM).

Moderna, en la que se utiliza la nomenclatura «medidas de apoyo» (ES), «ataque electrónico» (EA) y «medidas de protección» (EP).

En esta monografía se utilizará la denominación tradicional (ESM, ECM y EPM).



Figura 3.1-1. Buque F-100 (Fuente: Ministerio de Defensa).

3.2. Actividades de Apoyo Electrónico (ESM)

Son actividades encaminadas a buscar, interceptar e identificar las emisiones electromagnéticas, así como a localizar su procedencia. La finalidad de estas actividades es la obtención de conocimiento acerca de la situación electromagnética (Orden de Batalla Electrónico OBE), y el reconocimiento inmediato de la amenaza.

Constituyen una fuente de información esencial para tomar decisiones respecto al ECM y otras acciones tácticas.

Dada su naturaleza, la ESM comparte muchas características comunes con las actividades realizadas para la obtención de inteligencia, aunque para estas últimas se dispone de más tiempo para elaborar conclusiones. Dichas actividades se suelen clasificar en las siguientes categorías:

- Inteligencia de comunicaciones o COMINT (Communications Intelligence), consiste en la obtención de información a partir de las emisiones realizadas por sistemas de comunicaciones

- Inteligencia electrónica o ELINT (Electronic Intelligence), comprende las actividades dirigidas a obtener información técnica y de inteligencia a partir de emisiones realizadas por sistemas de no-comunicaciones (radares, perturbadores, etc.).
- Inteligencia de señales o SIGINT, (Signals Intelligence), agrupa a COMINT y a ELINT. Se utiliza este término cuando no se quiere distinguir entre las dos.
- Inteligencia electroóptica u OPTINT (Optical Intelligence) e inteligencia infrarroja o IRINT (Infrared Intelligence). Permiten obtener información de las captaciones realizadas por sensores en las bandas del visible y del infrarrojo, respectivamente

Dada su naturaleza, las actividades ESM de la GE comparten muchas características con las actividades SIGINT, siendo la principal diferencia entre ambas su finalidad y el uso que se haga de la información obtenida (apoyo a decisiones tácticas a corto plazo (ESM), o a decisiones estratégicas a largo plazo (SIGINT)).



Figura 3.2-1. Equipo ESM en la banda de no comunicaciones embarcable en plataforma aérea (Fuente INDRA).

3.2.1. Técnicas ESM

Asumiendo que existen diferencias importantes entre los sistemas ESM de comunicaciones y no comunicaciones, se puede generalizar que un sistema ESM realiza todas o parte de las siguientes tareas:

- **Interceptación.** Utilizando sensores que captan las señales del entorno electromagnético. Los sensores constan de equipos receptores y antenas. Normalmente se dispone de receptores de banda ancha que cubren o exploran a gran velocidad un margen más o menos amplio del espectro, con el fin de detectar actividad en él.
- **Medida de parámetros.** Los parámetros de los pulsos (señales de no comunicaciones) y de las señales de comunicaciones son medidos y digitalizados para su proceso posterior.
- **Análisis y clasificación.** Mediante hardware y software específico se analizan las señales captadas identificando sus parámetros técnicos, y se clasifican. En el caso de las transmisiones de comunicaciones digita-

les, se utilizan equipos para descodificarlas. El contenido de las comunicaciones se obtiene mediante operadores humanos, o bien mediante sistemas automáticos de reconocimiento del habla.

- **Registro.** Las señales captadas pueden ser registradas mediante equipos de grabación para su conservación o análisis posterior en laboratorio.
- **Identificación.** En equipos ESM de no comunicaciones, reuniendo los datos obtenidos del análisis de las señales se realiza una identificación automática o asistida por el operador. En sistemas ESM de comunicaciones se utilizan los datos del análisis de señal, el contenido de las transmisiones de comunicaciones, y la localización de los emisores para realizar una identificación de emisores basado principalmente en la experiencia del operador. Se apoyan en bases de datos obtenidas y depuradas mediante captaciones anteriores a lo largo de tiempo.
- **Localización.** Se utilizan equipos que permiten obtener de forma más o menos precisa la localización geográfica del emisor. Se consigue mediante radiogoniómetros, que son receptores capaces de determinar el ángulo de llegada de la señal. Utilizando varios de esos equipos situados en localizaciones suficientemente separadas, o bien un único equipo en movimiento, se puede obtener la localización por triangulación. También, existen sistemas que, para ciertos casos, además del ángulo en acimut determinan también el ángulo de elevación. Con ellos se puede obtener, en determinadas circunstancias, la localización utilizando un solo sensor.

3.3. Contramedidas Electrónicas (ECM)

Contramedidas electrónicas son las actividades encaminadas a impedir o reducir el uso eficaz del espectro electromagnético por parte del adversario, utilizando para ello energía electromagnética.

Se conocen tres formas de conseguir dicho objetivo:

- **Perturbación.** Consiste en la radiación deliberada, re-radiación o reflexión de energía electromagnética con el objeto de impedir o dificultar el uso que pueda hacer el enemigo de sus sistemas y equipos electrónicos.
- **Engaño.** También llamado «decepción», del término inglés deception (engaño, falsedad). Consiste en la radiación deliberada, re-radiación, alteración, absorción o reflexión de energía electromagnética con el fin de confundir, distraer o engañar al enemigo o a sus sistemas electrónicos.

- **Neutralización.** Es el uso deliberado de energía electromagnética para dañar temporal o permanentemente los equipos del adversario que utilizan el espectro electromagnético.

3.3.1. Técnicas ECM

Existen multitud de técnicas de ECM. Se pueden clasificar genéricamente en activas (que irradian energía electromagnética) y pasivas (que reflejan la energía electromagnética recibida). Por otro lado, los dispositivos encargados de realizar dicha contramedida se pueden dividir en dos grandes grupos: *perturbadores* (generan la señal desde la plataforma que realiza la contramedida) y *señuelos* (se despliegan desde una plataforma):

- **Perturbadores.** (En inglés, «*jammers*»): Emiten una señal de gran potencia para tratar de impedir que el equipo interferido realice su misión (perturbadores por ruido o «noise jammers»), o bien emiten señales falsas parecidas a las que el equipo víctima espera recibir (perturbadores por engaño o «*deception jammers*»).
- **Señuelos activos.** (En inglés, «*active decoys*»). Consisten en repetidores de señal que retransmiten la señal recibida (simulan el eco producido por una plataforma real) o generan una señal de ruido (para atraer los sistemas de armas hacia el señuelo). Existen muchos tipos de señuelos activos, puede ser autónomos o remolcados y desechables o recuperables.



Figura 3.3-1: Antena ECM prototipo (Sistema ALDEBARÁN) (Fuente Ministerio de Defensa).



Figura 3.3.1-1: Lanzamiento de bengalas desde una plataforma naval (Fuente Ministerio de Defensa).

- **Señuelos pasivos.** Simulan una RCS o una firma IR. Los más conocidos son el «chaff» (que consiste en una nube de tiras de aluminio o de fibra de vidrio cuya geometría hace que resulten resonantes a las frecuencias de los radares a engañar) y las bengalas (que generan una firma IR). Existen otros dispositivos como triedros y diedros que se despliegan con paracaídas, así como dispositivos flotantes que simulan la RCS de un buque («*rubber duck*»).

3.4. Actividades de Protección Electrónica (EPM)

La finalidad de la EPM es la protección frente a las actividades de ESM y ECM realizadas por el adversario. También se utilizan las técnicas de EPM para protegerse de las radiaciones perjudiciales no intencionadas que provienen de emisores amigos. Anteriormente, se denominaba «contra-contra medidas», (ECCM) aunque este término empieza a caer en desuso.

Las técnicas EPM se clasifican en activas y pasivas, según puedan ser detectadas o no por el adversario.

3.4.1. Técnicas EPM

Entre las numerosas técnicas de protección electrónica, cabe destacar las siguientes:

- Control de la emisión («EMCON»): Es la forma más simple de protección, y consiste en limitar las emisiones al mínimo imprescindible.
- Formas de onda complejas, con agilitades en los parámetros.
- Comunicaciones de baja probabilidad de interceptación («espectro ensanchado»).
- Gestión de potencia.
- Diseño de antenas con bajos lóbulos laterales.
- Material absorbente: Consiste en el uso de materiales y pinturas especiales que absorben la energía electromagnética recibida, en lugar de reflejarla.
- RCS reducida: Consiste en diseñar los perfiles de las plataformas de tal forma que minimicen la energía radar reflejada (por ejemplo: los «aviones invisibles»).
- Cifrado de las comunicaciones.

3.5. Sistemas de Autoprotección

Aunque parte de las funciones de los sistemas de autoprotección podrían estar incluidas en los sistemas ESM y ECM, se ha considerado conveniente dedicar un apartado propio a estos sistemas.

Se consideran *sistemas de autoprotección* a todos aquellos sistemas de GE cuya función es detectar amenazas potencialmente peligrosas (misiles y sistemas de armas) dirigidas contra la plataforma en la que están instalados.

Los sistemas de autoprotección están formados por un conjunto de sensores encargados de la detección de las amenazas, y un conjunto de contramedidas encargados del combate EM.

Sensores:

- **Alertador de amenazas radar** («*Radar Warning Receiver*» o RWR). Se encarga de detectar las emisiones radar asociadas a distintas amenazas (sistemas de guiado de misiles, radares de seguimiento de sistemas de misiles SAM, radares de exploración, etc.). Consisten en un sistema ESM dedicado principalmente a la detección de señales potencialmente peligrosas para la plataforma.

- **Alertador láser** («*Laser Warning Receiver*» o LWR). Encargado de detectar la posible iluminación láser asociada a distintas amenazas (sistemas de guiado de misiles por láser, designadores de objetivos láser, etc.).
- **Alertador de misiles** («*Missile Warning Receiver*» o MWR). Encargado de detectar el lanzamiento o la aproximación de un misil a la plataforma. Actualmente se utilizan tres tecnologías para realizar esta función: alertador de UV (detecta la firma UV que se produce principalmente en el lanzamiento del misil), alertador de IR (detecta la firma IR del misil) y alertador radar (radar doppler cuya función principal es detectar la aproximación del misil).

Contramidas:

- **Perturbadores** (tanto por ruido como por engaño).
- **Señuelos**. Pueden ser activos o pasivos, desechables o remolcados, de RF o de IR (bengalas).
- **DIRCM** (Directed IR Countermeasures). Sistemas de contramidas contra misiles con guiado IR. Pueden estar basados en lámparas o en láser de IR.



Figura 3.5-1. El Eurofighter dispone de un sistema de autoprotección electrónica (Fuente Ministerio de Defensa).



SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

4. HISTORIA Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA GUERRA ELECTRÓNICA EN ESPAÑA

Para poder describir el estado de la industria española en el ámbito de la GE es conveniente realizar un resumen general del proceso que se ha seguido hasta alcanzar el nivel tecnológico actual.

Dentro de este resumen únicamente se incluyen los sistemas que han sido objeto de modificación, modernización o suministro por parte de la industria nacional, con atención especial a los sistemas desarrollados con contratos de la SDG TECEN.

Para ello, en este apartado se realiza un recorrido sobre los programas principales desarrollados, se continúa con una descripción de los hitos tecnológicos conseguidos y se finaliza con un resumen de los actores principales (industrias e universidades) y de los programas que en el momento de la publicación de la monografía estén en desarrollo o hayan finalizado recientemente.

4.1. Programas Principales

Se puede considerar que el nacimiento de una tecnología nacional de GE se produce en la década de los 80 del pasado siglo, período en el que se decide potenciar a la industria para desarrollar sistemas de GE por varios motivos:

- Excesiva dependencia exterior en sistemas de GE, incluso para la programación de las librerías en algunos sistemas.
- Coste muy elevado, tanto de adquisición como de mantenimiento.
- Obsolescencia o falta de equipos en diferentes plataformas.
- Dificultad de obtención de algunos sistemas en el mercado internacional debido a restricciones a la exportación.

El proceso de adquisición de tecnologías/capacidades es gradual y se realiza de forma coordinada entre CC.GG., EMACON y SDG TECEN. La SDG TECEN financia desarrollos que cubren deficiencias de los sistemas instalados o que son la base de los futuros equipos para diferentes plataformas.

Los programas principales que marcan el desarrollo de los sistemas de GE son los siguientes:

DENEB

El programa surge de la necesidad de modernizar los sistemas de GE de la banda de no comunicaciones de las fragatas DEG de la clase Baleares y de las corbetas de la Armada. El sistema anterior era analógico, con una presentación tipo PPI (Plan Position Indicator) en un tubo de rayos catódicos y con una librería fija que era muy complejo modificar.

Se tomó la decisión de modernizar el proceso de señal y la presentación, dejando el hardware de radiofrecuencia original (con los ajustes que fueran necesarios). Para ello, se solicitó un presupuesto a la empresa que desarrolló el sistema. Dicho presupuesto resultó muy superior al inicialmente previsto, realizando incluso menos tareas. Como consecuencia, se exploró la posibilidad de realizar un desarrollo nacional y se consideró que al modernizar únicamente el proceso, se disminuirían los riesgos del programa.

Durante la fase de definición de las tareas a realizar por la empresa nacional, la empresa que inicialmente había desarrollado el programa redujo su oferta a la mitad por lo que en la Jefatura de Apoyo Logístico se decidió continuar el desarrollo nacional para disminuir la dependencia de empresas extranjeras y los costes de mantenimiento.

El programa finalizó y se instalaron los sistemas en las fragatas y corbetas con un resultado no muy satisfactorio, debido principalmente a la mala calidad de la medida del ángulo de llegada

(AOA, Angle Of Arrival) y al número de falsas alarmas que se generaban.

Se analizaron las causas de dichos problemas y se llegó a la conclusión de que eran producidos por la baja calidad de los datos proporcionados por los sensores que no se habían modificado, por lo que se



Figura 4.1-1. Grupo consola del Sistema DENEb (Fuente INDRA).

pidió apoyo a la SDG TECEN para que se iniciara un programa de I+D para su modernización.

Simultáneamente al desarrollo del sistema DENEb se realizó una modernización de las contramedidas (programa CANOPUS realizado íntegramente en el CIDA) y una modernización del sistema de lanzamiento de chaff (programa KOCHAB, realizado con estrecha colaboración del GIMO, el EMA y el CIDA).

ALDEBARAN

Nace de la necesidad de mejorar los sensores del equipo DENEb y termina siendo un programa de desarrollo de un sistema integrado de GE para cumplir los requisitos técnicos y operativos exigidos para el sistema de las fragatas F-100 (fig. 4.1-2).

El programa comienza en el año 1986 con la fase de previabilidad en la que se definen las tecnologías que se deben desarrollar. Posteriormente, en las fases de viabilidad y definición, se desarrollan módulos de medida instantánea de frecuencia (DIFM Digital Instantaneous Frequency Measurement), antenas multihaz para la medida del ángulo de llegada, antenas de apuntamiento electrónico, otros dispositivos para el ECM y se realiza la definición del sistema en base a los requisitos de la fragata F-100.

A finales de 1992, empieza la fase de diseño y desarrollo que comienza por el Subsistema ESM, posteriormente se realiza el Subsistema ELINT y se termina con el desarrollo e integración del Subsistema ECM.

El programa fue un éxito, aunque durante las primeras etapas de integración en la F-100 surgieron numerosos problemas que se fueron solucionando. En estas etapas existió una colaboración total entre la empresa, la Oficina de Programa de la F-100 en la JAL y la Oficina de Programa Aldebarán del CIDA.

Muchos son los factores que han contribuido al éxito de este programa, que ha servido de pilar fundamental a las empresas, a la Universidad y al MINISDEF para crear una base de conocimiento en GE y sus tecnologías que se encuentra al nivel de los países más avanzados de la OTAN. Entre estos factores se pueden destacar los siguientes:

- Se integraron las recomendaciones y propuestas de los operativos desde las primeras fases del programa.

- Se produjo una estrecha colaboración entre la industria, la universidad y diferentes organismos del MINISDEF.
- Se dispuso de un buque con personal especializado en GE para realizar las pruebas del prototipo.
- Se introdujeron mejoras y modernizaciones en el diseño inicial con contratos adicionales que permitieron resolver problemas no previstos inicialmente o mejorar prestaciones del sistema.
- Se recogió la experiencia de otros programas.
- Se tuvo desde el principio un objetivo claro: desarrollo del sistema de GE de las fragatas F-100.
- La SDG TECEN dispuso de medios de prueba que permitieron comprobar en campo las prestaciones del equipo y proporcionar un entorno electromagnético fuera del laboratorio.

El resultado de este programa de investigación se resume en tres puntos:



Figura 4.1-2. Detalle del Mástil. Sistemas ALDEBARAN y REGULUS instalados en la F-100 (Fuente Ministerio de Defensa).

- Una familia de productos de GE: al ser el sistema desarrollado de tipo modular, se pudo adaptar a las diferentes plataformas en función de sus necesidades, de forma que en la Armada existen buques con sistemas Aldebarán que presentan diferentes configuraciones.
- Creación de una base tecnológica en las empresas y en la universidad que permitió competir en mercados internacionales y sirvió para desarrollar nuevos sistemas para otros CC.GG.
- Mejorar la base de conocimiento de GE dentro del MINISDEF, lo que permitió comprender mejor los sistemas, sus fortalezas y debilidades en función de las tecnologías ofertadas y aumentó la capacidad de dicho ministerio para la definición de requisitos y para la evaluación de los diferentes sistemas y tecnologías.

ACRUX

Previo a la fase de diseño y desarrollo del sistema Aldebarán, la Armada contrató el suministro de un nuevo sistema de GE para los submarinos de la serie S-70 (clase Agosta).

El planteamiento del programa (fig. 4.1-3) fue similar al del programa DENEb ya que, inicialmente, todo el proceso de señal se desarrolló en España y el hardware de radiofrecuencia fue desarrollado por una compañía inglesa.

El programa sufrió diferentes retrasos, el principal debido a la rotura de dos conjuntos de radiofrecuencia en las pruebas de presión. Esta rotura fue consecuencia de una mala manipulación e instalación de la antena, por lo que la empresa inglesa no se hizo cargo de la reparación. INDRA decidió acometer el diseño y fabricación de dos conjuntos de radiofrecuencia compartiendo costes con Navantia.

Otra de las causas del retraso fue debida a la integración de las empresas INISEL y CESELSA durante el proceso de desarrollo del sistema.

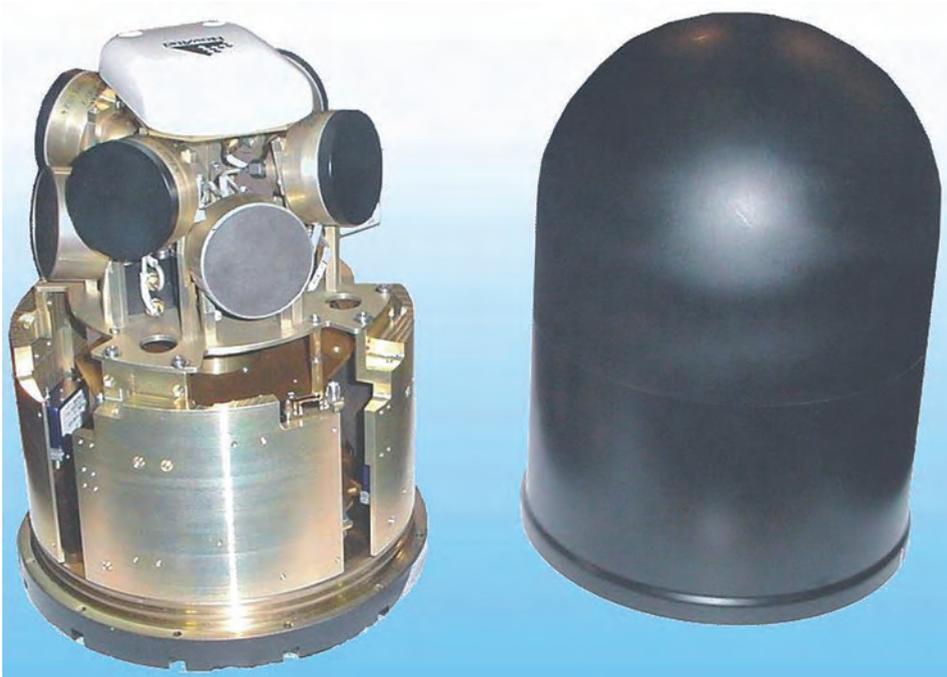


Figura 4.1-3. Sistema AEMO del Programa ACRUX (Fuente INDRA)

Esta integración provocó que se unificaran los desarrollos para que fueran comunes con otros sistemas, por lo que se redefinió el sistema de proceso inicialmente propuesto.

PROCYON

El PROCYON fue un programa de I+D cuyo objetivo era el desarrollo de un conjunto integrado de antenas y receptores de radiofrecuencia que pudiera ser instalado en un submarino

Su principal avance consistió en la integración de antenas en la misma mecánica para cubrir las bandas de no comunicaciones y de comunicaciones.

El sistema se validó primero realizando las pruebas ambientales necesarias para calificar el sistema para el submarino, y posteriormente se realizaron pruebas de mar que permitieron realizar una evaluación funcional del sistema.

Este conjunto, con pequeñas modificaciones, se utilizará en el desarrollo del sistema para los submarinos S-80.

ELNATH

Es un sistema de GE de comunicaciones para plataformas navales (fig. 4.1-5). Se inicia casi simultáneamente con el programa DENEK y tiene como destino las mismas plataformas.

El ELNATH es una evolución de sistemas para el control del espectro instaladas en plataformas móviles utilizadas por la DG-TEL.

El sistema, además de las funciones de exploración del espectro y goniometría,

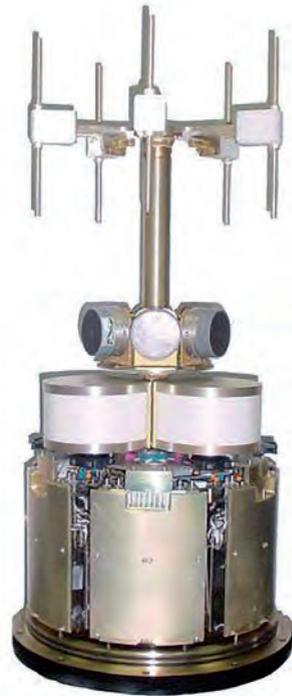


Figura 4.1-4. Antena integrada (banda de comunicaciones y no comunicaciones) del Sistema PROCYON (Fuente INDRA).



Figura 4.1-5. Consola de presentación del Sistema ENALTH (Fuente INDRA).

incluía receptores de escucha. Dos de los sistemas ELNATH entregados se integraron con un sistema ECM de comunicaciones, con capacidad tanto de perturbación como de spoofing (4).

ALR-300, ALR-310

El programa de desarrollo de un alertador de amenazas (RWR) (fig. 4.1-6) comenzó con posterioridad al programa DENEK y fue financiado con fondos de la SDG TECEN.

Se desarrollaron dos sistemas alertadores cuyas principales diferencias radicaban en la forma de explorar las bandas y en la capacidad de medida de la frecuencia de la señal recibida.

Su principal dificultad radicaba en el desarrollo de un sistema para entorno aeronáutico, principalmente por sus restricciones de peso, consumo, volumen y condiciones ambientales.

Dichos alertadores están instalados en aviones y helicópteros del MINISDEF.

SYREL

Fue un programa del EA que incluía la adquisición de *pods* para la captación de señales y para la generación de contramedidas, además de un centro en tierra para el análisis de las señales.

El programa se realizó con la colaboración de las empresas CESELSA (ENSA), INISEL y THOMSON.

RECEPTOR DIGITAL AVANZADO

El programa para el desarrollo de un demostrador de un receptor digital avanzado (fig. 4.1-7) tuvo como objeto la realización de pruebas



Figura 4.1-6. ALR-300 (Fuente INDRA).

(4) Contramedida consistente en la retransmisión de información grabada con el objeto de engañar y confundir.

reales para la validación de los estudios de viabilidad sobre radares LPI y receptores digitales (necesarios para poder detectar este tipo de radares), financiados por la SDG TECEN y que contaron con la colaboración de la UPM y la empresa INDRA.

El prototipo realizado se integró parcialmente con el Sistema Aldebarán y se realizaron pruebas de mar en las que se demostró su viabilidad y la capacidad de detección, incluso con cierto factor de ventaja, de los radares LPI disponibles en la Armada.

Este programa constituyó la base de todos los programas posteriores realizados por la empresa y la situó en los primeros puestos mundiales en el desarrollo de receptores digitales para aplicaciones de GE.

REGULUS

Es un sistema de GE de comunicaciones para plataformas navales (fig. 4.1-8). Es una evolución del sistema ELNATH, en el que se mejoran las velocidades de barrido, el ancho de banda instantáneo y la goniometría y se incluyen modos de operación adicionales que permiten la detección de señales de espectro expandido.

Adicionalmente se incluyen capacidades COMINT.

Se integra con un sistema ECM de comunicaciones, con capacidad tanto de perturbación como spoofing.



Figura 4.1-7. Receptor Digital Avanzado (Fuente Ministerio de Defensa).



Figura 4.1-8. Consola de presentación del Sistema REGULUS (Fuente INDRA).

TORRE DE GE Y PROGRAMA POLAR

Con objeto de realizar pruebas exhaustivas de los sistemas contratados por el MINISDEF, la SDG TECEN decidió crear un entorno de pruebas para sistemas de GE en el Centro de Evaluación y Análisis Radioeléctricos (CEAR), situado en Guadalajara.

Este entorno de pruebas está compuesto por:

- Una torre que incluye varias plataformas que se pueden mover de forma independiente o coordinada, en las que se instalan los equipos de GE bajo prueba (fig. 4.1-9).
- Sistema POLAR: equipo de simulación de señales de no comunicaciones instalado en vehículo para poder realizar pruebas en el CEAR y en otros entornos (p.ej, se ha desplazado en numerosas ocasiones para prestar apoyo en diversas pruebas de la Armada y del Ejército de Tierra) (fig. 4.1-10).



Figura 4.1-9. Torre de Medidas del CEAR (Fuente Ministerio de Defensa).



Figura 4.1-10. Equipo POLAR (Fuente Ministerio de Defensa).

SISTEMAS DE MEDIDA DE RCS Y FIRMA IR

La SDG TECEN, a través de sus Centros de Investigación (CIDA, LQCA, FNM) ha adquirido y desarrollado sistemas que permiten obtener la sección recta radar (RCS) de unidades navales (fig. 4.1-11), así como la firma IR (fig. 4.1-12) de unidades navales, terrestres y aéreas y de diferentes tipos de bengalas.

Estos medios sirven de apoyo para la definición de las contramedidas, para la evaluación de señuelos (principalmente bengalas), y para progra-



Figura 4.1-11. Sistema LIBRA de medida RCS de plataformas navales (Fuente Ministerio de Defensa).



Figura 4.1-12. Laboratorio móvil de infrarrojos LAMIR (Fuente Ministerio de Defensa).

mas de desarrollo (p.ej. en la evaluación del contenido espectral para diferentes mezclas de materiales para bengalas).

Adicionalmente, dentro de los trabajos realizados en los Centros de la SDG TECEN se han desarrollado bengalas y señuelos de humo, desarrollos que han sido transferidos a la industria.

PROGRAMAS COINCIDENTES

En la SDG TECEN se han financiado parcialmente numerosos programas de I+D presentados por las empresas que han permitido desarrollar aspectos o componentes específicos de sistemas de GE.

Algunos de los dispositivos y equipos desarrollados dentro del marco del Programa COINCIDENTE han sido: demostradores de interferometría digital, demostradores de la técnica TDOA (Time Difference Of Arrival), receptores de exploración ultrarrápidos, receptores de banda ancha para la detección de señales de comunicaciones, amplificadores de potencia, etc.

Algunos de estos desarrollos se han ido incorporando en los sistemas que ha adquirido el MINISDEF.

Adicionalmente, estos programas han servido para financiar una colaboración continua entre el MINISDEF y la universidad, principalmente para la realización de estudios de sobre la evolución tecnológica previsible en sistemas de no comunicaciones y de GE y para el desarrollo de prototipos y algoritmos.

PROGRAMA SANTIAGO

El SANTIAGO es un programa de programas financiado por el Estado Mayor Conjunto y que ha dotado a los CC.GG. de medios de captación y proceso que cubren las señales de comunicaciones, las señales de no comunicaciones y los espectros visible e infrarrojo.

Se puede decir que este programa ha sido, es, y previsiblemente será en el futuro uno de los pilares básicos sobre los que se sustentará el desarrollo y utilización de sistemas de GE en España.

Muchas de las tecnologías desarrolladas en los programas anteriores han tenido aplicación directa en el programa SANTIAGO, que ha sido también el responsable de ampliar la participación de la industria nacional en el desarrollo y suministro de sistemas de GE.

Además de los medios de captación y análisis, se han contratado sistemas que permiten la evaluación de señales (SAM, Sistema de Análisis Móvil) y simuladores para la evaluación de los sistemas adquiridos (SCAEW).

4.2. Hitos Tecnológicos

El proceso de obtención de tecnología ha sido progresivo y ha ido incrementando la base tecnológica para desarrollar los programas.

Por razones de clasificación de seguridad, dentro de estos hitos se han excluido todos los sistemas desarrollados con funciones de inteligencia electrónica.

El principal logro tecnológico de todos estos programas ha sido crear una base de conocimiento nacional que permite desarrollar sistemas completos cuya única dependencia tecnológica se centra en la adquisición de componentes (circuitos integrados, componentes de RF, etc.).

Cada uno de los programas desarrollados ha contribuido al conocimiento y desarrollo de las tecnologías de GE. Analizándolo por programas, los logros principales se pueden resumir en:

Programa DENEb:

HW

– *Arquitecturas abiertas.* Basándose en estándares industriales (bus VME) se desarrollaron arquitecturas de proceso paralelo en las que se

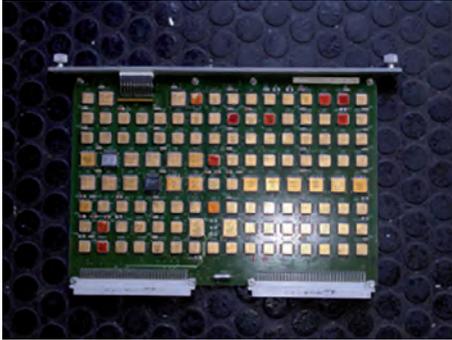


Figura 4.2-1. Procesador específico de desentrelazado (Extractor) (Fuente INDRA).

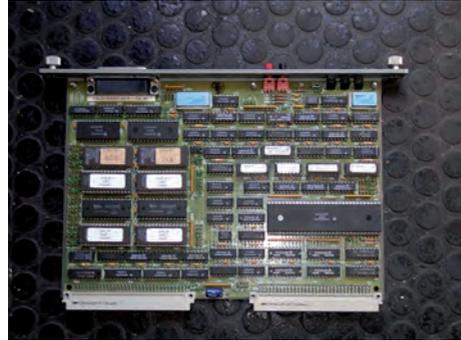


Figura 4.2-2. Procesador general de comunicaciones (Fuente INDRA).

incluían procesadores de propósito general, tarjetas con hardware específico, tarjetas de comunicaciones, etc.

- *Tarjetas multicapa con montaje superficial.* La complejidad de diseño de las tarjetas de HW específico en las que era necesaria una gran densidad de componentes electrónicos, obligó a realizar un cambio en la tecnología empleada por la industria y utilizar componentes militares de montaje superficial.
- *Utilización de componentes de alta velocidad.* La cantidad de información que hay que procesar en los sistemas de GE es muy elevada, por lo que es necesario disponer de la última tecnología para poder obtener una probabilidad de interceptación elevada y poder clasificar las señales detectadas. La utilización de estos componentes exige un diseño complejo y minucioso de las tarjetas para evitar fenómenos no deseados.

SW

- *Desarrollo de algoritmos específicos.* Uno de los principales logros del programa fue el crear un grupo de trabajo para el desarrollo de algoritmos para la realización del desentrelazado, la caracterización y la identificación de la señales de la banda de no comunicaciones.

Adicionalmente a los desarrollos HW y SW realizados en el marco del programa DENEb, la aportación principal al desarrollo de la GE en España fue proporcionar a la industria española la oportunidad de acceder al ambiente electromagnético real en entorno naval, lo cual permitió mejorar los algoritmos que inicialmente se habían desarrollado con simuladores de laboratorio.

Programa ALR-300 ALR-310

HW

- *Desarrollo de tarjetas de proceso para aplicaciones aeronáuticas.* Además de las pruebas ambientales, se tienen que estudiar, de manera especial, todos los problemas de tamaño, peso, consumo y disipación térmica. En particular, para estos programas se desarrollaron tarjetas con una capa de Invar para la disipación térmica.
- *Desarrollo de receptores de RF.* En el marco de este programa se realizaron los primeros desarrollos de receptores de banda ancha.

Al igual que con el programa DENEb, uno de los principales logros fue el mejor conocimiento del ambiente electromagnético real, principalmente en operaciones aéreas.

Programa SYREL

SW

- *Desarrollo de procesos específicos.* En este desarrollo se partía de sensores desarrollados por THOMSON (Thales), y se desarrolló un SW específico con funciones ELINT. Además, se realizó un esfuerzo importante en la definición y desarrollo de enlaces de datos.

Programas ACRUX y PROCYON

HW

- *Desarrollo de tarjetas de proceso de alta capacidad.* Se progresó en el desarrollo tecnológico de tarjetas de alta capacidad de proceso, que fueron una evolución de los desarrollos realizados en el marco del programa DENEb, en las que se incorporaron la experiencia aprendida en las diferentes pruebas de mar y operaciones.
- *Desarrollo de sensores de RF.* En estos programas se finalizó el primer sistema totalmente diseñado y fabricado por la industria nacional, que además cumplía las condiciones ambientales exigidas para sistemas instalados en submarinos.

Programa ELNATH

HW

- *Desarrollo de tarjetas de proceso digital de la señal de alta capacidad.* En el marco de este programa se desarrollaron tarjetas multiprocesador (DSP) para el proceso de señales de comunicaciones.

- *Desarrollo de cadenas de RF.* Las cadenas de proceso de RF para señales de HF, VHF y UHF, incluyendo muchos de sus componentes, fueron desarrolladas por la industria durante este programa.
- *Desarrollo de un sistema goniométrico.* Basado inicialmente en un goniómetro desarrollado para la DGTEL, se desarrolló un sistema basado en interferometría para determinar la dirección de llegada de las señales de comunicaciones.

SW

- *Desarrollo de algoritmos específicos* para los sistemas de GE de comunicaciones, entre los que se encuentran los procesos de identificación del tipo de modulación de la señal (clasificadores).

Programa ALDEBARAN

Por su duración y las inversiones realizadas, se puede considerar al programa ALDEBARÁN como el programa en el que se basan muchos de los logros tecnológicos adquiridos por la industria nacional en el campo de la GE.

Entre ellos se pueden destacar:

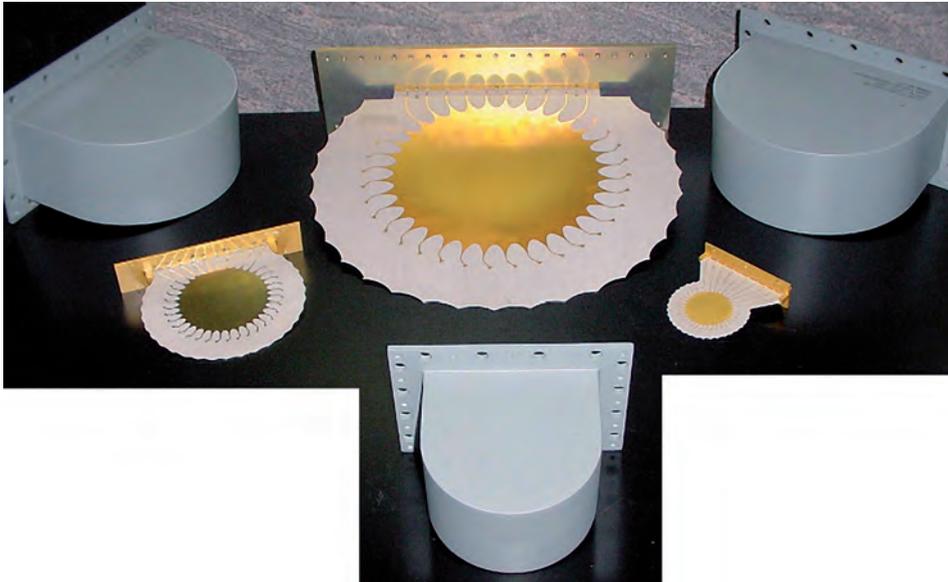


Figura 4.2-3. Antenas Multihaz (Fuente INDRA).

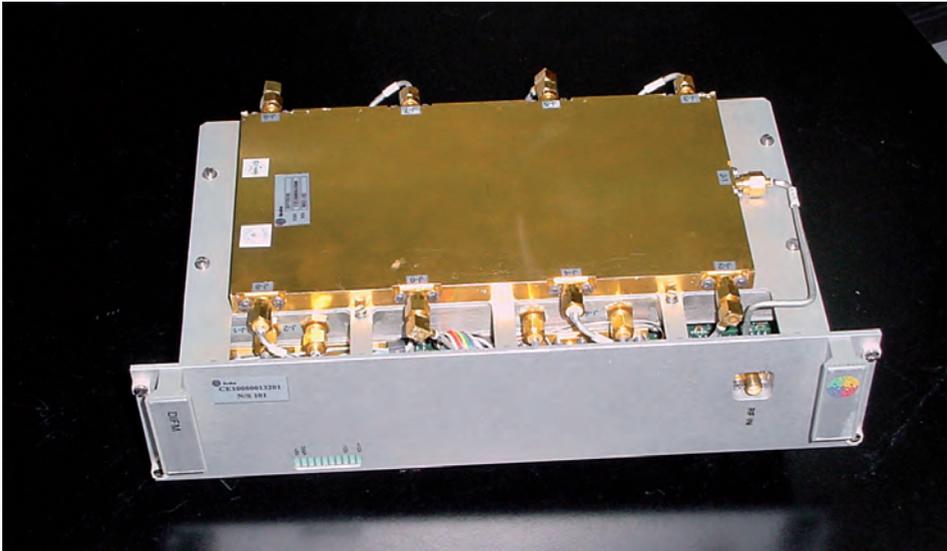


Figura 4.2-4. Digital Instantaneous Frequency Measurement (DIFM) (Fuente INDRA).

HW

- *Desarrollo de antenas multihaz y antenas espirales.* Desarrollo de antenas para la medida de goniometría (fig. 4.2-3).
- *Desarrollo de dispositivos DIFM y DRFM.* Desarrollo de dispositivos de RF para la medida instantánea de la frecuencia y de memorias de radiofrecuencia para la generación de contra-medidas (fig. 4.2-4).
- *Desarrollo de tarjetas de proceso de propósito general y específico.* Como evolución de los desarrollos de anteriores programas.
- *Desarrollo de aplicaciones basadas en FPGA* (Field Programmable Gate Array). Dentro de este programa se emplearon de forma generalizada las FPGAs para el desarrollo de tarjetas, utilizando para la programación el lenguaje VHDL (Very High level Design Language).
- *Desarrollo de antenas de apuntamiento electrónico* para aplicaciones de contra-medidas con un tiempo de conmutación entre diferentes direcciones muy bajo, que permitía realizar una multiplexación de contra-medidas pulso a pulso.



Figura 4.2-5. Lente de Rotman (Fuente Ministerio de Defensa).

- *Desarrollo de lentes de Rotman*, para realizar los desfasajes que son necesarios para apuntar el haz de las antenas mencionadas anteriormente (fig. 4.2-5).
- *Desarrollo de HPAs (High Power Amplifiers)*. Desarrollo de amplificadores de alta potencia para sistemas ECM y simuladores de señales. Estos amplificadores estaban basados en TWT (Traveling Wave Tube) adquiridos en el mercado internacional. Como parte de este desarrollo se incluyen las fuentes de alimentación de alta tensión (3.000-10.000 V) y alta estabilidad desarrolladas por la industria nacional.
- *Desarrollo de canales de RF integrados*. Basándose en la tecnología adquirida en el marco del programa DASS (Defense Aid Sub-System) para el EFA (European Fighter Aircraft), se desarrollaron canales integrados que se fabricaron en una Cámara Limpia.

SW

- *Desarrollo de algoritmos específicos*. Mejora de los algoritmos de desentrelazado, caracterización e identificación y desarrollo de procesos de gestión de potencia (Power Management) para la gestión de los recursos de las contramedidas.

Programa RECEPTOR DIGITAL AVANZADO

HW

- *Desarrollo de tarjetas digitalizadoras de alta velocidad*. Desarrollo de tarjetas con velocidades de muestreo superiores a 1 GHz y con gran margen dinámico.
- *Desarrollo de tarjetas de proceso de señal basadas en FPGA*, aprovechando la alta capacidad que ofrecían los nuevos modelos de FPGA.

SW

- *Desarrollo de algoritmos digitales de la señal específicos*, basados principalmente en FFT (Fast Fourier Transform), especialmente adaptados a la detección de señales de CW-LFM (Continuous Wave-Linear Frequency Modulation).

Programas COINCIDENTES

Dentro del Programa COINCIDENTE, con la colaboración de la universidad, la empresa y el MINISDEF, se han desarrollado tecnologías y

proyectos muy diversos que han contribuido a mejorar tanto el conocimiento en áreas definidas por el MINISDEF (principalmente mediante estudios realizados por la Universidad), como el desarrollo de determinados componentes (p.ej. tarjetas de proceso). Dichos programas o proyectos propuestos por la empresa y financiados conjuntamente con el MINISDEF han servido para poder realizar procesos y simulaciones, que han permitido avanzar en aspectos específicos de sistemas de GE.

El número de programas y tecnologías desarrolladas en el marco del Programa COINCIDENTE es elevado, por lo que únicamente se recogen aquellos logros que se consideran más significativos para el desarrollo de sistemas de GE.

HW

- *Desarrollo de tarjetas digitalizadoras para receptores de exploración de muy alta velocidad.*
- *Desarrollo de receptores de gran ancho de banda para aplicaciones de GE de comunicaciones.*
- *Desarrollo de amplificadores de alta potencia en diferentes bandas de frecuencia, para aplicaciones de simulación de señales reales y para equipos de contramedidas.*
- *Desarrollo de antenas de alta ganancia para sistemas ELINT.*
- *Desarrollo de antenas para aplicaciones COMINT.*
- *Desarrollo de receptores en bandas milimétricas.*

SW

- *Desarrollo de algoritmos de desentrelazado e identificación.*
- *Desarrollo de algoritmos de clasificación para señales de comunicaciones.*

ESTUDIOS Y DEMOSTRADORES

- *Estudio sobre diferentes técnicas de goniometría para aplicaciones de GE.*
- *Estudio sobre radares de baja probabilidad de interceptación (LPI). Se realizó un primer estudio que sirvió para abrir dos líneas de investigación en la SDG TECEN, una sobre radares de baja probabilidad de interceptación y otra sobre receptores digitales.*
- *Estudio de algoritmos de detección para receptores digitales. En este estudio se analizaron y simuló diversos algoritmos (STFT, FFT, Wiener-Ille, Wavelet, descomposición atómica, etc.) para el análisis de señales.*

- *Desarrollo de demostradores LPI*, que sirvieron de base para el diseño de radares LPI y que se utilizan para pruebas de equipos de GE.
- *Desarrollo de demostradores de procesadores fotónicos* para aplicaciones en receptores digitales.
- *Desarrollo de demostradores tecnológicos de amplificadores de Nitruro de Galio*. El comienzo de la investigación en dispositivos GaN en el ámbito de defensa comenzó como un programa COINCIDENTE.
- *Desarrollo de un demostrador de receptor digital interferométrico* para realizar la medida del ángulo de llegada en aplicaciones de GE para señales de no comunicaciones.
- *Desarrollo de un demostrador TDOA*. Demostrador tecnológico para analizar la viabilidad y las precisiones obtenidas en la localización de emisores mediante técnicas TDOA.

Programas de simuladores y evaluación de sistemas

Los hitos tecnológicos conseguidos con los programas de medida de firma IR, de medida de RCS y de simuladores y sistemas de evaluación de equipos de GE a nivel HW coinciden con los desarrollos anteriores. Se puede considerar que los mayores logros de estos programas han sido, por un lado, dotar al MINISDEF de los instrumentos necesarios para poder evaluar de forma independiente el funcionamiento de los sistemas de GE que se adquieren y, por otro lado, ayudar a la definición de las técnicas y tácticas de ECM a partir del conocimiento adquirido sobre las plataformas.

Programa SANTIAGO

El programa SANTIAGO es de adquisición de sistemas por lo que su contenido en I+D ha sido siempre limitado. Sin embargo, y dado que puede considerarse como el programa más importante en GE por la inversión realizada, ha sido uno de los programas que ha servido para consolidar la tecnología desarrollada en los programas anteriores.

A lo largo del programa, la cantidad de módulos desarrollados y fabricados por la industria nacional ha ido aumentando progresivamente, de forma que en los primeros sistemas únicamente se realizaba la integración de sensores del mercado internacional, mientras que en las últimas adquisiciones se realiza el desarrollo del sistema completo (sensores, sistema de procesado de señal, integración, etc.).

4.3. Actores Principales

A continuación se presenta una breve reseña de los actores nacionales que, a consideración del Observatorio de Electrónica, tanto a nivel industrial como a nivel universitario, han tenido y/o tienen un papel significativo en la GE en España.

Los datos contenidos en este apartado están basados en la información proporcionada por diferentes empresas y universidades, relativa a sus actividades en GE. Estos datos fueron suministrados por dichas entidades en respuesta a la petición de información realizada por el SOPT. También se ha recogido la opinión de dichas entidades respecto a la evolución futura de las tecnologías aplicables a sistemas de GE.

El resumen se ha limitado a las entidades que han proporcionado información al SOPT, por lo que si alguno de los actores no ha suministrado información podría no haber sido incluido en los siguientes apartados.

4.3.1. Industria

INDRA:



– EXPERIENCIA EN GE

Se puede considerar a la empresa INDRA como el actor principal en GE en España, tanto por la variedad de sus sistemas como por el volumen de pedidos del MINISDEF. INDRA cuenta con una experiencia de más de veinte años en el desarrollo de estos sistemas.

Su Dirección de Sensores y Defensa Electrónica cubre el diseño y desarrollo de sistemas de GE y su mantenimiento, incluyendo las necesarias modernizaciones y actividades de I+D encaminadas al desarrollo de nuevos proyectos.

Sus sistemas comerciales cubren la mayor parte del espectro utilizado en GE y comprenden desde sistemas pasivos (ESM y SIGINT) en las bandas de no comunicaciones y de comunicaciones a sistemas activos (ECM) en dichas bandas, para aplicaciones aéreas, terrestres y navales. INDRA también está desarrollando tecnología en sistemas EO (visible e IR), incluyendo un sistema de perturbación contra misiles MANPADS.

Actualmente INDRA no tiene desarrollos en el campo de señuelos pasivos (chaff y bengalas) ni alertadores láser o UV.

– PRODUCTOS QUE DESARROLLA

En función del tipo de plataforma a la que van dirigidos, se puede realizar una clasificación de los productos de GE de la empresa en tres grandes grupos:

- Sistemas de GE Aerotransportados: desarrollos de alertadores RWR, sistemas ESM/ELINT, sistemas ECM y suites integradas de Defensa Electrónica. Estos sistemas cubren la banda de no comunicaciones y de comunicaciones. Para las suites integradas INDRA está desarrollando un sistema DIRCM (programa MANTA).

Además, INDRA participa en el desarrollo y fabricación de sistemas para los principales programas aeronáuticos del MINISDEF, tales como el F-18, el Typhoon (Eurofighter), el TIGRE y los aviones de transporte A400M.

- Sistemas de GE Navales: desarrollos de sistemas integrados ESM/ECM, sistemas SIGINT (tanto ELINT como COMINT) y Sistemas ópticos (IR y visible).

Es especialmente relevante la experiencia de INDRA en sistemas navales. Los productos de GE desarrollados por la empresa han sido instalados en un gran número de buques de la Armada y han sido exportados para su instalación en Corbetas alemanas. Actualmente INDRA está desarrollando, en colaboración con la Universidad y el ITM, un sistema alertador de misiles basado en detección multiespectral en IR.

- Sistemas de GE Terrestres: desarrollo de sistemas ESM, ECM y SIGINT y simuladores de señales (de comunicaciones, de no comunicaciones y de perturbación).

Destaca el programa GESTA-DUBHE, realizado para el ET e IM respectivamente.

INDRA también ha participado en el programa Conjunto de Inteligencia Estratégica (Programa SANTIAGO), para los segmentos aéreo, naval y terrestre.

Dentro del área de Sistemas Electro-Ópticos, INDRA cuenta con desarrollos de cámaras en IR y Visible, sistemas de detección de amenazas, y desarrollo de DIRCM.

– CAPACIDAD INDUSTRIAL

INDRA dispone de capacidad de diseño, desarrollo y fabricación de equipos y sistemas completos. Además, esta empresa posee una importante capacidad como integrador de sensores y de sistemas de GE.

Esta capacidad contempla todos los aspectos del desarrollo, desde el diseño y fabricación de HW específico (tanto de RF como de proceso de señal) hasta el desarrollo de SW, incluyendo el desarrollo de algoritmos, procesos específicos, integración de sistemas y desarrollo de la interfaz HMI.

– PRESENCIA INTERNACIONAL

La empresa tiene prestigio internacional reconocido y habitualmente es invitada a participar en la presentación de ofertas para sistemas de GE en todo el mundo. Ha exportado a varios países, entre ellos Alemania, India, Turquía, etc.

Además tiene un amplio historial de participación en estudios, grupos de trabajo e iniciativas de programas, tanto en el marco europeo (EDA, Lol, etc...) como OTAN (RTO, NIAG, etc...).

EADS-CASA



– *EXPERIENCIA EN GE*

EADS-CASA, la división española de la multinacional EADS, centra sus actividades en GE en los trabajos relacionados con la integración de sistemas en plataformas aéreas. En dichos trabajos se incluyen simulaciones, estudios de coberturas de los sensores, determinación de la posición óptima de los sensores, estudios de compatibilidad electromagnética y todo lo referente a la integración de subsistemas de diferentes fabricantes para la obtención de un sistema integrado de GE.

– PRODUCTOS QUE DESARROLLA

- Integración de sistemas de autoprotección en aeronaves: se ocupan de la integración óptima en la aeronave de RWR, MWS, dispensadores de chaff y bengalas, DIRCM, etc. pertenecientes a distintos fabricantes. Como ejemplo cabe destacar el C-295 ó el futuro A400M.
- Integración de sistemas de GE en aeronaves: sistemas de ESM/SI-GINT (P-3 Orión).
- Sistema OGSE-OVU (Operational Ground Support Equipment – Operational Validation Unit): sistema que permite integrar la información ESM de distintas plataformas a través de enlaces de comunicaciones.
- SW específico de simulación electromagnética de estructuras.

– CAPACIDAD INDUSTRIAL

EADS-CASA es la empresa de referencia (trabajando de manera conjunta con el INTA) para la integración de sistemas de GE en aeronaves.

Como empresa multinacional cubre todos los aspectos del desarrollo de sistemas (HW, SW e integración).

Entre sus áreas de especialidad también se encuentra el diseño y fabricación industrial de materiales absorbentes multicapa de señal radar.

– PRESENCIA INTERNACIONAL

La información enviada por la división española de EADS no incluye datos concretos sobre su presencia internacional.

GMV



– EXPERIENCIA EN GE

GMV ha participado desde sus inicios en programas de GE, principalmente en simulación de GE y sistemas SIGINT.

– PRODUCTOS QUE DESARROLLA

GMV ha desarrollado simuladores de GE de defensa antimisil, de evolución de tácticas en defensa antimisil, de defensa antitorpedo, etc. Como ejemplo de estos simuladores se puede mencionar el SPICA (en colaboración con otras entidades), SABIK, MISTAT, ALSA o SEIR.

En el área de SIGINT ha participado en el programa SANTIAGO, tanto en subsistemas COMINT (programa AESCOM) como en parte del desarrollo de medios de análisis y evaluación SIGINT (nodos del sistema SIGLO (Sistema de Integración Global)).

– CAPACIDAD INDUSTRIAL

GMV trabaja principalmente en temas de desarrollo SW de simuladores, en la integración de sistemas completos de simulación, en el análisis de datos de GE y en centros de integración de información.

– PRESENCIA INTERNACIONAL

GMV está participando en programas europeos (EDA JIP-FP). No se tiene constancia de que la empresa haya exportado a otros países sus productos de GE.

IECISA



– EXPERIENCIA EN GE

La línea de desarrollo principal de la empresa en el área de GE ha sido la de Sistemas de Inteligencia de Señales en la Banda de Comunicaciones (Sistemas COMINT) para el programa SANTIAGO.

– PRODUCTOS QUE DESARROLLA

IECISA trabaja principalmente en sistemas COMINT, integrando componentes de otros fabricantes y desarrollando todo el SW de proceso y análisis.

En lo que se refiere a desarrollos hardware, IECISA ha participado junto con otras empresas en dos proyectos dentro del marco del Programa COINCIDENTE: un prototipo de antena de alta eficiencia COMINT y un prototipo de antena de alta ganancia ELINT.

Como parte de un expediente del Programa SANTIAGO, IECISA ha desarrollado un Grabador de Frecuencia Intermedia (FI) para COMINT.

– CAPACIDAD INDUSTRIAL

Desarrollo de software e integración de sistemas COMINT.

– PRESENCIA INTERNACIONAL

IECISA ha presentado diversas iniciativas europeas tanto en los programas JIP (FP e ICET) de la EDA como en el Séptimo Programa Marco. No se tiene constancia de que la empresa haya exportado a otros países sus productos de GE.

TELEFÓNICA SOLUCIONES



–EXPERIENCIA EN GE

Principalmente enfocada hacia los sistemas COMINT.

– PRODUCTOS QUE DESARROLLA

TELEFÓNICA SOLUCIONES ha liderado el diseño, desarrollo y actualización del SAM (Sistema de Análisis Móvil), unidad móvil con capacidad de captación de señales en la banda de comunicaciones y no comunicaciones y análisis de las mismas. Para dicho análisis de señales, la empresa ha desarrollado las aplicaciones SITRADICOM (señales de comunicaciones) y SITRADISER (señales de no comunicaciones).

– CAPACIDAD INDUSTRIAL

Desarrollo de software e integración de sistemas.

– PRESENCIA INTERNACIONAL

No se ha incluido en la información enviada por la empresa datos sobre su participación en proyectos internacionales de GE, exportación de productos, presencia en mercados internacionales, etc.

TECNOBIT



– EXPERIENCIA EN GE

Las líneas de desarrollo principales en el área de GE son los sistemas electro-ópticos (EO) para aplicaciones OPTINT, así como los aspectos de proceso, análisis y fusión de los datos obtenidos con estos sensores EO.

– PRODUCTOS QUE DESARROLLA

Entre los desarrollos de TECNOBIT en el área de sistemas EO destacan un sensor IR de 3ª generación y FLIR (Forward Looking Infra-Red), para pods de designación láser; una plataforma giroestabilizada (PGE-15) aplicable a buques de la Armada, que incluye FLIR, CCD (Charge Coupled Device) y telémetro láser (además de la algoritmia de seguimiento de blancos); un sistema de vigilancia portátil (CENTINELA) que cuenta con sensores IR, CCD y telémetro láser para Infantería de Marina (IM).

Ha colaborado junto con otras empresas europeas (Thales y Fiar) en el desarrollo del sistema de búsqueda y seguimiento infrarrojo FLIR/IRST (Infra-Red Search and Track) del EF2000.

La empresa tiene un programa de desarrollo de algoritmos IRST cuyo objetivo es ofrecer en el futuro prestaciones de radar pasivo a sus equipos.

– CAPACIDAD INDUSTRIAL

Diseño y fabricación de equipos y sistemas EO y tratamiento digital de la señal, principalmente en el área de proceso de imagen.

– PRESENCIA INTERNACIONAL

Participación en el EF-2000. No hay información adicional de otros programas internacionales de GE en los que participe TECNOBIT.

SIMAVE



– EXPERIENCIA EN GE

Las líneas de actividad de SIMAVE en GE se centran principalmente en la integración de sistemas de radiogoniometría en la banda de

comunicaciones y en desarrollos software (bases de datos y sistemas GIS).

– PRODUCTOS QUE DESARROLLA

SIMAVE ha participado en las siguientes actividades dentro del programa SANTIAGO:

- Desarrollo y mantenimiento del SW de gestión de bases de datos del sistema SANTIAGO.
- Modernización del sistema de escuchas de GE en HF.
- Desarrollo software de un simulador de escenarios electromagnéticos de GE.

Actualmente, SIMAVE está desarrollando un simulador de escenarios radioeléctricos para el Estado Mayor de la Defensa.

– CAPACIDAD INDUSTRIAL

Desarrollo de software e integración de sistemas.

– PRESENCIA INTERNACIONAL

No se ha incluido en la información enviada por la empresa datos sobre su participación en proyectos internacionales de GE, exportación de productos, presencia en mercados internacionales, etc.

DAS PHOTONICS



– *EXPERIENCIA EN GE*

DAS Photonics trabaja en el desarrollo de tecnologías capacitadoras o subyacentes aplicables a sistemas de GE basadas en el uso de técnicas fotónicas. Estas técnicas están enfocadas hacia el conformado óptico de antenas y hacia el submuestreo de señales de alta frecuencia.

– *PRODUCTOS QUE DESARROLLA*

Dentro del marco del programa COINCIDENTE, DAS Photonics ha desarrollado un demostrador de procesador fotónico para receptores digitales y un transmisor/receptor de radiofrecuencia sobre fibra óptica (FO).

– CAPACIDAD INDUSTRIAL

Diseño y desarrollo de dispositivos ópticos.

– PRESENCIA INTERNACIONAL

La empresa ha manifestado su interés por participar en distintas iniciativas internacionales.

4.3.2. Universidad

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (UPM)
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE TELECOMUNICACIONES (ETSIT)
GRUPO DE MICROONDAS Y RADAR (GMR)



– EXPERIENCIA EN GE

El GMR posee una amplia experiencia en el diseño e implementación de hardware de microondas y radiofrecuencia con aplicación directa a sistemas de GE.

Como específicos de dicha área, es destacable la experiencia del GMR en simulación y procesamiento de señal para GE (en la banda de no comunicaciones y en la banda de comunicaciones).

– PRODUCTOS QUE DESARROLLA

Colaboraciones finalizadas:

- Desarrollo de prototipos de receptores de altas prestaciones para ESM de no comunicaciones en entorno naval (Receptor Digital Avanzado (RDA) para el buque ALERTA). Desarrollos realizados en colaboración con el CIDA y la empresa INDRA.
- Desarrollo de nuevos algoritmos de detección y clasificación de señales, así como su implementación en FPGAs en la banda de comunicaciones. Desarrollo realizados en colaboración con el CIDA y la empresa INDRA.

Colaboraciones en curso:

- Desarrollo, en colaboración con INDRA, de técnicas de geolocalización para sistemas embarcados en aviones de combate y para sistemas de vigilancia del espectro.
- Desarrollo, en colaboración con INDRA, de amplificadores GaN de banda ancha (2-6 GHz) y más de 20 W de potencia de salida, dentro del proyecto KORRIGAN. Aplicación para futuros equipos ECM.

– PRESENCIA INTERNACIONAL

No se ha incluido en la información enviada datos sobre la participación del GMR en proyectos internacionales de GE.

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA (UPNA)
GRUPO DE ANTENAS



– *EXPERIENCIA EN GE*

El Grupo de Antenas de la UPNA realiza su actividad investigadora en distintas tecnologías capacitadoras aplicables a los sistemas de GE, aunque no desarrolla estos sistemas como tales.

– PRODUCTOS QUE DESARROLLA

Dentro de las tecnologías capacitadoras sobre las que están trabajando, son destacables los desarrollos de receptores y antenas en la banda de frecuencias Milimétricas, así como los estudios sobre estructuras y materiales para la reducción de la sección radar.

– PRESENCIA INTERNACIONAL

No se ha incluido en la información enviada datos sobre la participación del GA-UPNA en proyectos internacionales de GE.

UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA (UCLM)
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
(ETSII)- Grupo de Ingeniería Avanzada para la Seguridad
y la Defensa (G.I.A.Se.De.)



– *EXPERIENCIA EN GE*

Experiencia en sistemas de microondas de alta potencia (HPM).

– PRODUCTOS QUE DESARROLLA

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales está trabajando en el desarrollo de un demostrador de un sistema transportable de generación de Pulsos Electromagnéticos (EMP) basado en un generador tipo VIRCATOR, aplicable a lucha contra IEDS (Pre-detonación o desactivación de IEDs) y como arma de energía dirigida para el ataque electrónico (ECM).

– PRESENCIA INTERNACIONAL

No hay constancia de participación internacional en el área de GE.

4.4. Estado Actual: Programas en Curso

Entre los principales programas de GE que en la actualidad están en curso cabe destacar el programa SANTIAGO, el programa GESTA-DUBHE, el programa RIGEL, el programa MANTA, los programas ALR 400 y ALQ 500 y el programa SIRIO.

Todos los extractos de los programas que se muestran a continuación han sido revisados y aprobados por los responsables de dichos programas. Además, las imágenes que ilustran los mismos han sido facilitadas por las respectivas Oficinas de Programa.

Programa SANTIAGO

El programa Conjunto SANTIAGO tiene por objeto el desarrollo de un sistema conjunto de obtención y elaboración de información electrónica que complementen y mejoren las capacidades SIGINT de que disponen los ejércitos a nivel estratégico.

Se divide en un conjunto de subsistemas en función de su despliegue y características técnicas. Su implantación corresponde al EMAD, está operado por los Ejércitos de Tierra, Mar y Aire y dirigido por el Centro de Inteligencia de las FAS (CIFAS).



Figura 4.4-1. Programa SANTIAGO (Fuente: Ministerio de Defensa).



Figura 4.4-2. Buque ALERTA. Programa SANTIAGO (Fuente: Ministerio de Defensa).

El Programa, clasificado reservado, se inició en 1991 y tienen prevista la finalización de la fase I en el año 2010 coincidiendo con el comienzo de la fase II en la que se incrementara la capacidad de proyección del sistema.

Dicho Programa proporcionará un sistema de GE estratégico de carácter conjunto, con las capacidades SIGINT de Detección, Intercepción, Localización, Análisis y Clasificación de señales en la banda de Comunicaciones, de No comunicaciones, imágenes visibles e infrarrojo.

Programa GESTA-DUBHE

El programa se creó en 1999 como programa I+D de un prototipo GESTA y en 2001 se estableció como programa Conjunto de GE GESTA-DUBHE. Está prevista la finalización del programa en el año 2010.



Figura 4.4-3. Estación básica Subsistema de Telecomunicaciones del Sistema GESTA (Fuente Ministerio de Defensa).



Figura 4.4-4. Estación básica Subsistema de No Telecomunicaciones del Sistema GESTA (Fuente Ministerio de Defensa).

El programa GESTA tiene por objeto el dotar al ET de un Sistema de GE Táctico de nueva generación.

El sistema GESTA cubrirá las funciones de:

- ESM de Telecomunicaciones y de No Telecomunicaciones.
- ECM de Telecomunicaciones y de No Telecomunicaciones.
- EPM para la red de telecomunicaciones que lo soporta.
- Evaluación, Dirección y Control.
- Integración con el SIMACET (Sistema de Información para Mando y Control del Ejército de Tierra).

Para ello estará constituido por los siguientes Subsistemas:

- Subsistema de EW de Telecomunicaciones (ST).
- Subsistema de EW de No Telecomunicaciones (SNT).
- Subsistema de Evaluación, Dirección y Control (EDC).
- Subsistema de Análisis y Apoyo (SAA).
- Subsistema de Adiestramiento, Simulación y Mantenimiento (SASM).
- Red de Telecomunicaciones propia.

Los medios ESM estarán instalados en «shelter» transportados sobre URO-VAMTAC, los medios ECM estarán instalados en BMR y los medios de Dirección y Control en «shelter» sobre camión.



Figura 4.4-5. Estación básica de los Subsistemas de Telecomunicaciones y No Telecomunicaciones del sistema GESTA cubierto con redes miméticas (Fuente: Ministerio de Defensa).

El programa DUBHE tiene por finalidad dotar a Infantería de Marina de un Sistema de GE táctico moderno en la banda de Telecomunicaciones como apoyo a la Brigada de Infantería de Marina (BRIMAR) del Tercio de Armada.

El sistema DUBHE cubrirá de las siguientes funciones:

- ESM de Telecomunicaciones.
- ECM de Telecomunicaciones.
- EPM para la red de telecomunicaciones que lo soporta.
- Evaluación, Dirección y Control.
- Integración con el SIMACET o Sistema de Información de la Fuerza de Desembarco (SMCFD).

El sistema DUBHE estará compuesto de estaciones ESM de Telecomunicaciones (EA Estaciones de Apoyo), Estaciones de Dirección y Control del Subsistema (ECO) instaladas en «shelter» transportado por vehículo Hummer, y de estaciones de ECM de Telecomunicaciones integradas en vehículo Piranha.

Programa RIGEL

Los actuales Sistemas de GE de la generación de Aldebarán son receptores analógicos, muy robustos y caros, que han manifestado una buena



Figura 4.4-6. Equipos del Sistema de GE RIGEL (Fuente: Ministerio de Defensa).



Figura 4.4-7. Antenas del Subsistema ESM de GE RIGEL instaladas en los mástiles de una fragata FFG (Fuente: Ministerio de Defensa).

capacidad de detección de señales en zonas de mar abierto, incluso con ambientes con gran densidad de señales, pero no son tan eficaces en aguas litorales, donde abundan las ondas continuas en el ambiente y fundamentalmente frente a las nuevas generaciones de radares LPI.

Como respuesta a lo anterior la Armada inició la adquisición de nuevos Subsistemas ESM RIGEL, tanto para las nuevas construcciones como para aquellas en fase de modernización que basados en recepción digital, permitiera corregir todas las desventajas de los receptores analógicos.

El programa RIGEL I+D surge posteriormente (se inició a finales del 2007 y tiene prevista su finalización a finales del 2010), y tiene por objeto completar los nuevos Subsistemas RIGEL ESM con Subsistemas RIGEL ECM específicamente diseñados, así como apoyar los esfuerzos realizados por la Armada en su implantación de tecnología de recepción digital y posibilitará su extensión a las diferentes clases de unidades navales, concretándose en tres direcciones:

- Diseño, desarrollo, suministro, instalación y pruebas de un Subsistema de Contramedidas Activo (ECM) que se integrará con el Subsistema ESM RIGEL instalado en el Buque LHD.

- Adaptación de un Subsistema ESM RIGEL para su funcionamiento en buques sin consola de operación, como es el caso de los nuevos buques BAM.
- Diseño, desarrollo, suministro, instalación y pruebas de un prototipo de modulo de recepción digital para su incorporación a los Sistema de GE de la familia Aldebarán que les permita adquirir la capacidad de detección de radares de Baja Probabilidad de Interceptación (LPI).

Programa MANTA

El objetivo del Programa de I+D MANTA (Man Portable Aircraft Defense System Threat Avoidance) es el de dotar a las Fuerzas Armadas de un sistema basado en tecnología de contramedidas dirigidas de IR (DIRCM: Directed InfraRed Counter Measures) e integrable en las aeronaves de Estado y de transporte del Ejército del Aire para su autoprotección frente a armamento de guiado infrarrojo (misiles de tipo MANPADS: Man Portable Aircraft Defense System).

En el año 2007 se contrató una primera fase de validación y calificación tecnológica de un prototipo en tierra, de 15 meses de duración, cuya finalización está prevista en 2009. Para dicha validación se han utilizado dos



Figura 4.4-8. Prototipo del Sistema MANTA (Fuente: Ministerio de Defensa).



Figura 4.4-9. Detalle del Prototipo MANTA embarcado en avión (Fuente: INDRA).

tipos de entornos de pruebas no embarcados: un laboratorio de tipo «estático» ubicado en instalaciones del contratista y como evolución de este, un Centro de Ensayos, a ubicar en instalaciones del MINISDEF. Así mismo, es objeto de esta primera fase la adquisición de determinado material, necesario para llevar a cabo la mencionada validación del prototipo en los entornos de prueba citados.

Durante esta fase, se estudia y analiza la efectividad de las contramedidas generadas frente a cabezas buscadoras IR reales, tanto de tipo retícula, como las de últimas generaciones basadas en procesado de imagen. Por último, se define en esta fase los trabajos a realizar en una segunda fase del Programa.

Cuando esta primera fase finalice con éxito, se estará en condiciones de acometer una segunda fase «Calificación Operativa y de Aeronavegabilidad», que comprendería las siguientes actividades:

- Instalación de un sistema DIRCM MANTA, a cada costado del avión que se pretende proteger.
- Pruebas de integración: mecánica, eléctrica y con los equipos aviónica.
- Calificación aeronáutica: pruebas ambientales y de compatibilidad electromagnética.
- Pruebas operativas en vuelo.
- Certificación de aeronavegabilidad del sistema DIRCM MANTA.

ALR 400 y ALQ 500 (Suite de Autoprotección del EF-18)

El proyecto comenzó en 2002 y está previsto finalice a mediados del presente año 2009. El objetivo ha sido el diseño, desarrollo e integración del alertador de amenazas (ALR 400) y del perturbador (ALQ 500) en una suite nacional de GE para el avión C. 15 (EF-18).



Figura 4.4-10. Detalle del alertador ALR-400 (Fuente: Ministerio de Defensa).

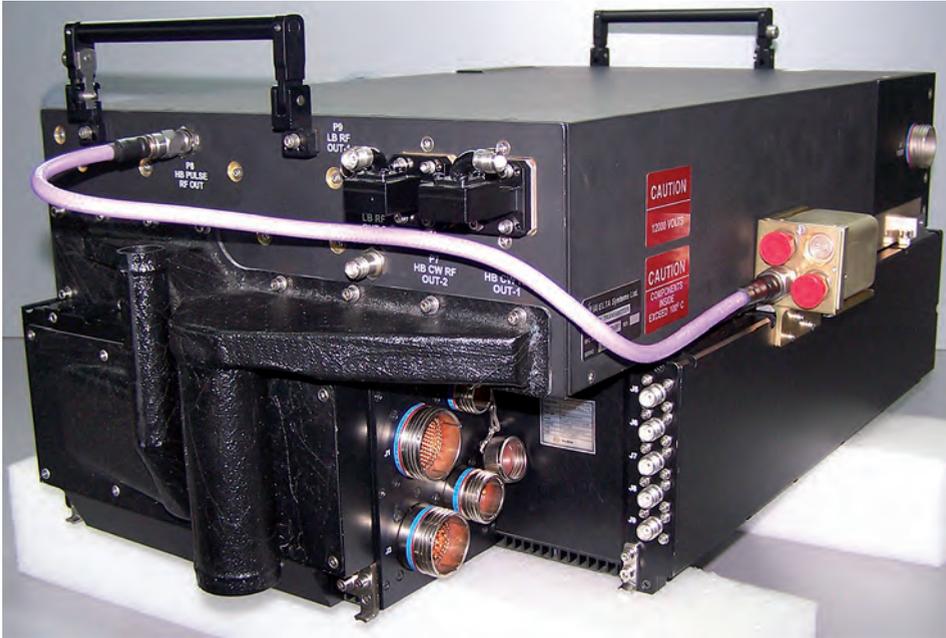


Figura 4.4-11. Perturbador en la banda de no comunicaciones ALQ-500 (Fuente: Ministerio de Defensa).

El programa completo de Nacionalización de una suite de GE del C.15 incluye la integración de los dos sistemas mencionados anteriormente junto con un dispensador de Chaff/Flares IR y a su vez la integración de dicha suite con los demás equipos y sistemas de aviónica de a bordo, interaccionen o no directamente con la misma.

EL ALR 400 es una alertador basado en recepción digital en banda ancha, de gran precisión angular del ángulo de llegada (AOA), alta sensibilidad y fuerte inmunidad frente a perturbaciones. Detecta emisiones en Banda CD, Banda E/J y Banda K.

El ALQ 500 es un perturbador/engañador de onda continua y de pulsos en la banda de no comunicaciones, basado en técnicas de digitalización de alta velocidad y avanzadas técnicas de DRFM (Digital Radio Frequency Memory).

Programa SIRIO

El proyecto SIRIO se inició en el año 2000 y tienen prevista su finalización en el año 2009. El objetivo de dicho proyecto es fabricar un demostrador



Figura 4.4-12. Detalle del escáner del Sistema SIRIO (Fuente: Ministerio de Defensa).

tecnológico que permita detectar un misil rozaolas (tipo Harpoon), lanzado contra el observador, situado en ambiente marino, a una distancia de, al menos 10 km, mediante el análisis multiespectral de imágenes obtenidas en el infrarrojo. Dado que el tamaño de estos misiles está en torno a los 30 cm de diámetro, el ángulo que subtenden a esta distancia es de $50 \mu\text{rad}$, por lo que la resolución del sistema óptico ronda este valor. Entre los participantes están el CIDA, Indra, el CNM de Barcelona, la UPM y la Universidad Carlos III.

La señal de la banda IR de 3 a 5 μm es la más adecuada para la detección, por su menor atenuación en ambiente marino. Para incrementar el contraste del misil sobre el fondo, se han seleccionado tres bandas de detección, dentro de la banda de 3 a 5 μm , dando lugar a un sistema de detección multiespectral.

Este sistema utiliza una matriz refrigerada de detectores IR de pozo cuántico (QWIP) de 500 x 12 detectores, basada en una estructura de semiconductores AlGaAs/GaAs, diseñada y desarrollada en la UPM. Se trata de un notable reto tecnológico, dado que hasta ahora sólo se han desarrollado QWIPs en 8 a 12 μm .

El sistema utiliza un escáner rotatorio para cubrir un ángulo horizontal de 60° y uno vertical de 6° .



Figura 4.4-13. Imagen IR de pruebas de campo de la patrullera con el blanco patrón (Cádiz Septiembre 2008). (Fuente: Ministerio de Defensa).

En la actualidad se han obtenido imágenes IR de un blanco patrón en ambiente marino, por medio de las pruebas de campo llevadas a cabo en la bahía de Cádiz.

El trabajo realizado permitirá obtener no sólo un demostrador, sino unos conocimientos técnicos en la materia que sitúan al CIDA y a la Defensa Española en una posición equiparable a la de las naciones aliadas más avanzadas, dentro de la OTAN o la Unión Europea, como ya refleja la participación del CIDA en varios foros internacionales de detección IR en ambiente marino.



SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

5. TENDENCIAS FUTURAS EN GUERRA ELECTRÓNICA

El objetivo de este capítulo es realizar una exposición sobre las principales tendencias futuras en sistemas de GE. Esta exposición se estructura en dos niveles: en primer lugar, se presentan las tendencias más importantes en los sistemas de GE, tomando como referencia un horizonte temporal cercano al año 2030. En segundo lugar, se describen las principales tecnologías en las que se apoyarán estos sistemas. El desarrollo y maduración de estas tecnologías será vital para poder obtener sistemas de GE con las funcionalidades requeridas.

Por su carácter clasificado, no se ha realizado ningún análisis de las tendencias de los sistemas de inteligencia.

5.1. Tendencias Principales

A continuación se enumeran las principales tendencias futuras en sistemas de GE, tomando como horizonte temporal el año 2030:

1. Sistemas Portátiles de Guerra Electrónica.
2. Utilización de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAVs) de pequeño tamaño para Guerra Electrónica.
3. Integración de Sensores de Guerra Electrónica en la Estructura de la Plataforma.
4. Guerra Electrónica en Red.
5. Sistemas de RF Multifuncionales, Escalables y Modulares.
6. Equipos de Guerra Electrónica completamente Digitales y Reconfigurables.
7. Sistemas de Autoprotección Integrados.
8. Sistemas de Energía Dirigida de RF para el Ataque Electrónico.

5.1.1. Sistemas Portátiles de Guerra Electrónica

En la actualidad, el peso, volumen y consumo energético que presentan los equipos de GE dificulta que dichos equipos puedan ser transportados por un único soldado a pie (es decir, no son equipos «portátiles»). La posibilidad de disponer de equipos de GE portátiles proporcionaría

una importante ventaja táctica en uno de los escenarios operativos más probables en el futuro: las zonas urbanas.

En las operaciones militares de guerra urbana, la visibilidad y la maniobrabilidad de las unidades desplegadas se encuentran muy obstaculizadas por edificios, escombros, etc. Esta reducción en visibilidad y maniobrabilidad limita la eficacia de los sistemas de Guerra Electrónica instalados en estas unidades. Si estos sistemas fueran portátiles, se facilitaría enormemente su despliegue por el escenario «tridimensional» urbano (interior de edificios, túneles, etc.), lo que mejoraría notablemente el conocimiento de la situación operativa (Situational Awareness). Este conocimiento es crucial en el escenario urbano, ya que las características de dicho escenario facilitan la ocultación de la amenaza y el ataque a las unidades desplegadas desde posiciones protegidas.

En estos escenarios, los sistemas de Guerra Electrónica que resultarían de mayor interés son los ESM portátiles (tanto para señales de comunicaciones como de nocomunicaciones) y los inhibidores personales contra RC-IED (fig. 5.1.1-1).



Figura 5.1.1-1. Imagen de un perturbador portátil en mochila (es el CES 0512 de la empresa TRL Technology). (Fuente: TRL Technology).

5.1.2. Utilización de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAVs) de pequeño tamaño para Guerra Electrónica

Cada vez se encuentra más extendido el uso de Vehículos Aéreos no Tripulados en todo tipo de operaciones militares. La ausencia de piloto a bordo del vehículo los hace especialmente aptos para misiones de alto riesgo, misiones de larga duración y misiones en ambientes con contaminación química, biológica o nuclear.

En la actualidad, los UAVs se emplean principalmente en misiones de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (ISR), siendo sus cargas de pago más habituales sensores radar, electroópticos e infrarrojos. Progresivamente se van incorporando también como cargas de pago sistemas ESM/SIGINT, aunque el peso actual de estos equipos obliga a su instalación en plataformas de gran tamaño como el «Global Hawk» de Northrop Grumman (ver fig. 5.1.2-1).

En el futuro, los UAVs de pequeño tamaño (Mini y Micro-UAVs) (5) podrán jugar un papel relevante en GE (ver figs. 5.1.2-2 y 5.1.2-3). Debido a su reducido tamaño, estos dispositivos pueden implementarse a un



Figura 5.1.2-1. Imagen del UAV de tipo HALE «Global Hawk» (Fuente: Northrop Grumman).

(5) Típicamente, los Mini-UAVs tienen una dimensión máxima de 0.5 m. Los Micro-UAV tienen una dimensión máxima de 0.15 m.



Figura 5.1.2-2. Ejemplo de Mini-UAV: el RQ-11B «Raven», de la empresa AeroVironment Inc (Fuente: AVInc).

coste muchísimo menor que el requerido para fabricar un UAV como el de la fig. 5.1.2-1. Los futuros avances técnicos (autonomía, funcionamiento cooperativo, etc.) permitirán que estos Mini y Micro-UAVs puedan llevar a cabo misiones anteriormente reservadas a UAVs de gran tamaño y elevado coste.

Por otro lado, el aumento de la efectividad de los Sistemas Integrados de Defensa Aérea (IADS) podría llegar a hacer prácticamente inviable la utilización de UAVs de alto coste como el «Predator» o el «Global Hawk», debido al elevado riesgo de pérdida de unos recursos tan valiosos. En este tipo de escenarios, la utilización de Mini y Micro-UAVs de bajo coste (incluso desechables) permitirá soslayar estas limitaciones.



Figura 5.1.2-3. Ejemplo de Micro-UAV: el «Black Widow», de la empresa AeroVironment Inc (Fuente: AVInc).

5.1.2.1. UTILIZACIÓN DE MINI Y MICRO-UAVS PARA ECM EN OPERACIONES DE SUPRESIÓN DE LA DEFENSA AÉREA DEL ENEMIGO (SEAD)

Las operaciones de GE para SEAD podrán beneficiarse del uso de Mini y Micro-UAVs en un rol de combate ya que, debido a su pequeño tamaño, tienen firmas radar, infrarroja y acústica reducidas, lo que les hace intrínsecamente furtivos. Esta característica, unida a su bajo coste y al hecho de que pueden ser desechables, les convierte en candidatos óptimos para la misión de perturbación de los radares enemigos desde el interior de su espacio aéreo (Stand-In Jamming).

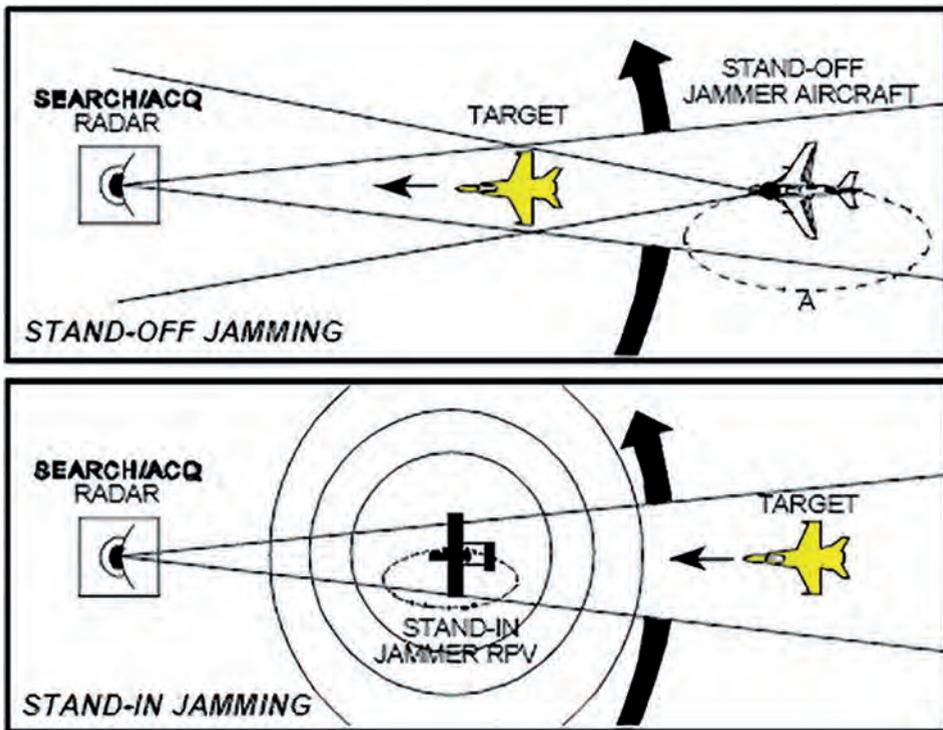


Figura 5.1.2-4. Esquemas que describen el Stand-off jamming y el Stand-in jamming. La flecha curvada gruesa señala el límite del espacio aéreo protegido por el enemigo. La plataforma que realiza Stand-In Jamming es un UAV. (Fuente: [4]).

En las operaciones de Stand-In Jamming, la plataforma perturbadora se encuentra próxima al radar objetivo, por lo que dicha plataforma puede incapacitar con éxito el radar utilizando mucha menos potencia que la que sería necesaria en el caso de perturbar desde el exterior de la zona de riesgo (Stand-Off Jamming) (fig. 5.1.2-4). Esta reducción de potencia



Figura 5.1.2-5. Imagen del lanzamiento del UAV Anti-Radar «Harpy», fabricado por IAI. (Fuente: IAI).

facilita el control del espectro electromagnético y disminuye las interferencias EM con equipos propios. Como contrapartida, las plataformas en misiones Stand-In jamming se encuentran dentro del alcance de las armas antiaéreas del enemigo, lo que disminuye notablemente las probabilidades de supervivencia de dichas plataformas.

Las características de furtividad de los Mini y Micro UAVs permiten que puedan aproximarse mucho más al radar objetivo antes de ser detectados. Por otro lado, el reducido coste de los Mini y Micro UAVs (en comparación con los UAVs de mayor tamaño) (6) permite adquirir grandes cantidades de estas aeronaves para su empleo en el campo de batalla, por lo que la pérdida o derribo de alguna de estas unidades no compromete el éxito de la misión (se pueden considerar «desechables»).

Los Mini-UAVs también podrían utilizarse de manera análoga a los Misiles Anti-Radiación para la destrucción de los radares enemigos. Este es el caso del UAV Anti-Radar «Harpy», fabricado por Israel Aerospace Industries (ver fig. 5.1.2-5). En el futuro, dichos UAVs también podrían transportar Micro-UAVs con cargas explosivas para liberarlos en las cercanías

(6) El coste de un UAV «Predator» es aproximadamente equivalente al de 100 mini-UAVs «Aerosonde» [12]

del radar objetivo. Además, los Mini y Micro-UAVs pueden continuar en el aire durante un tiempo prolongado en el caso de que el radar objetivo deje de emitir. Cuando el radar se vuelve a activar, estos UAVs explosivos reanudan su trayecto en dirección a dicho radar. Además de resultar más efectivos en la destrucción de los radares enemigos, los Mini y Micro-UAVs podrían realizar esta misión a un coste considerablemente inferior al que se derivaría de utilizar misiles antirradiación convencionales.

5.1.2.2. UTILIZACIÓN DE MINI Y MICRO-UAVS PARA ESM

Como se mencionó anteriormente, actualmente se están integrando equipos de ESM/SIGINT en UAVs de tamaño medio y grande como el «Global Hawk» (ver fig. 5.1.2-1). En el caso de geolocalización de emisores utilizando plataformas independientes (no interconectadas entre sí), estas plataformas de gran tamaño permiten embarcar interferómetros ESM de gran longitud de línea base, con los cuáles se consigue reducir el error angular en la localización del emisor.

Debido al pequeño tamaño de los Mini y Micro-UAVs, no es posible embarcar en estas aeronaves interferómetros ESM que permitan conseguir precisiones angulares comparables a las de los interferómetros de UAVs de mayor tamaño. Sin embargo, si estos Mini y Micro-UAVs estuvieran interconectados y funcionando de manera cooperativa, sería posible conseguir unas prestaciones en geolocalización superiores a las de los equipos ESM en plataformas de gran tamaño independientes, como se explica en detalle en el apartado 5.1.4.

De manera análoga al caso de SEAD, los Mini y Micro-UAVs permitirían realizar la misión ESM a un coste considerablemente inferior que el que se tendría si se utilizaran plataformas de mayor tamaño, evitando además los riesgos de pérdida de recursos militares muy valiosos.

Por último, señalar que en ambos casos (ECM/SEAD y ESM), la reducción del peso, volumen y consumo de los equipos de GE embarcados resultará determinante para que su instalación en los UAV no perjudique la aerodinámica y la autonomía de vuelo de estas plataformas.

5.1.3. Integración de Sensores en la Estructura de la Plataforma

Actualmente, los sensores de RF (antenas) embarcados en las distintas plataformas (terrestres, navales y aéreas) se encuentran implementados sobre estructuras dedicadas (es decir, estructuras que no forman parte de la plata-



Figura 5.1.3-1. Ejemplo de antenas conformables en una aeronave. Izquierda: antena de banda ancha para enlace de datos tácticos. Derecha: antenas para comunicaciones por satélite (Fuente: [17]).

forma y que se tienen que adosar a la misma). Estas estructuras dedicadas adoptan distintas formas según el tipo concreto de antena utilizada (parábola, panel, cilindro largo y delgado, etc.), lo que afecta negativamente a la dinámica de la plataforma y a su firma en los espectros radar, visible e infrarrojo. Por esta razón, existe actualmente un gran interés en conseguir que los sensores de RF puedan integrarse en la propia estructura de la plataforma, lo que haría innecesario el empleo de estas estructuras dedicadas.

La mejor manera de conseguir esta integración es mediante el empleo de antenas de tipo array conformable. La forma de estas antenas se adapta a la geometría de la plataforma, bien recubriendo externamente la superficie de la misma, bien formando parte de la propia estructura de dicha plataforma (fig. 5.1.3-1).

La integración de sensores facilita también la implementación de las denominadas «Antenas de apuntamiento electrónico de Apertura Distribuida (Distributed-Aperture Electronically Steered Antennas)». La apertura física de estas antenas de tipo array está formada por un conjunto de elementos o sub-aperturas que no se encuentran distribuidas a intervalos regulares (como en el caso de las antenas de tipo array convencionales), sino que se encuentran situados en cualquier lugar disponible de la superficie de la plataforma y con orientaciones diferentes. La principal ventaja de este tipo de antenas es que permiten aumentar de manera considerable el campo de visión de los sensores, a costa de complicar el proceso de formación de haz de la antena.

La integración de sensores presenta características específicas en función del tipo de plataforma considerada:

- Plataformas Aéreas: son las que más se beneficiarían de esta integración, ya que los requisitos aerodinámicos de estas plataformas res-



Figura 5.1.3-2. Ejemplo de integración de antenas en una plataforma aérea. Los puntos rojos señalan la posición de los elementos de la antena, situados a lo largo de un ala y del fuselaje de un planeador a motor de tipo Stemme. La antena es un array interferométrico para la geolocalización de emisores (Fuente: [16]).

tringen severamente el tamaño de las antenas que se pueden instalar sobre estructuras dedicadas. Así, la integración de los sensores en la estructura permitiría implementar antenas cuyo tamaño máximo podría abarcar la longitud o la envergadura completa de la plataforma. Utilizadas en sistemas ESM embarcados, estas antenas de gran tamaño mejorarían substancialmente la precisión en la geolocalización de los emisores (ver fig. 5.1.3-2). Utilizadas en sistemas ECM embarcados, sería posible enfocar de manera más eficaz la energía del perturbador, lo que aumentaría las probabilidades de supervivencia de las plataformas defendidas por esta contramedida.

La integración de antenas también contribuiría a reducir la firma radar de la plataforma.

- Plataformas Navales: los sensores de Radar y GE actuales embarcados en plataformas navales no perjudican de manera crítica la dinámica de la plataforma, pero influyen negativamente en la firma radar de dichas plataformas. Esto es debido a que los distintos sensores y antenas situados en los mástiles de la plataforma, así como los propios mástiles metálicos, se comportan como potentes reflectores de las señales radar incidentes.

La solución que se perfila como más adecuada para resolver este problema consiste en sustituir los mástiles del barco por una estructura cerrada que contenga en su interior todos los sensores necesarios. Este tipo de estructuras, denominadas en general «mástiles integrados», están basa-



Figura 5.1.3-3. Imagen del destructor USS Arthur W. Radford, en la que se aprecia el mástil integrado AEM/S (es la gran estructura poliédrica situada a popa del mástil convencional). (Fuente: U.S. Navy/Summer M. Anderson).

das en materiales compuestos que presentan una respuesta controlada a las ondas electromagnéticas, de tal manera que absorben las ondas de los radares enemigos (reduciendo, por lo tanto, la firma radar de la pla-



Figura 5.1.3-4. Ilustración del futuro destructor de clase Zumwalt (DDG 1000). Los rectángulos de color gris oscuro representan las distintas antenas del buque, integradas en la superestructura y en la superficie del casco. (Fuente: U.S. Navy).

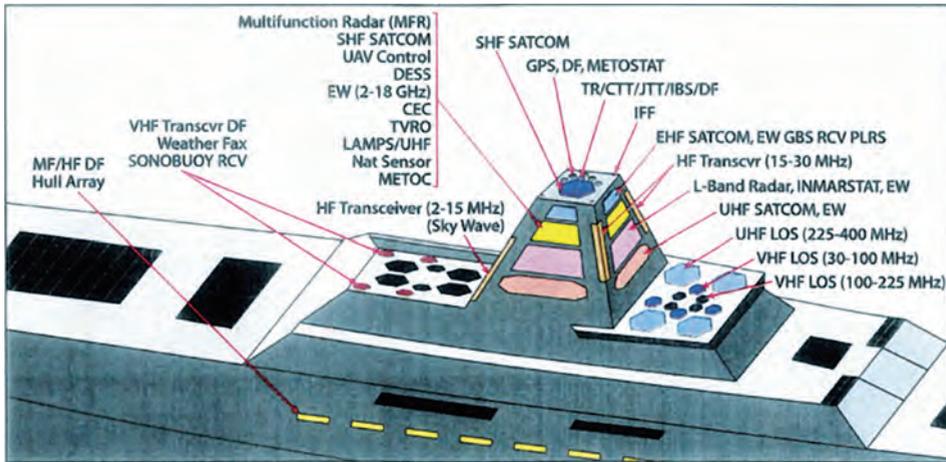


Figura 5.1.3-5. Posible distribución de antenas planas en un buque de guerra del futuro. Las antenas están embebidas en la propia superficie del buque, y su distribución obedece a requisitos de tamaño físico, cobertura y ángulo de visión. (Fuente: Naval Surface Warfare Center, Dahlgren Division).

taforma) pero permiten el paso de las ondas utilizadas por los sensores situados en el interior de dichas estructuras (ver fig. 5.1.3-3).

En las plataformas navales futuras, las antenas y los sensores de la plataforma no estarán situados en el interior de mástiles integrados, sino que estarán integrados o embebidos en la misma superficie de la superestructura del buque. Este concepto, denominado en la literatura inglesa «Aperstructure (7)», será implementado en los futuros destructores de clase Zumwalt de la armada de Estados Unidos (ver fig. 5.1.3-4). Las antenas integradas serían de tipo array plano, y serían utilizadas por los equipos de radar, comunicaciones y guerra electrónica del buque. En la fig. 5.1.3-5 se muestra una posible disposición para estas antenas en un buque de guerra del futuro.

La integración de todas las antenas en la superestructura de la plataforma elimina la necesidad de utilizar mástiles y antenas rotativas, lo que disminuye la firma radar del buque. Además, la propia superestructura está compuesta por materiales absorbentes de señal radar (RAM), lo que contribuye a reducir todavía más dicha firma radar.

Como ventajas adicionales de estas «Aperstructures» se pueden señalar la reducción de la firma infrarroja de la plataforma y el aumento del campo de visión de los sensores.

(7) Vocablo formado por la combinación de las palabras «Antenna Aperture» y «Structure»

Por otra parte, el elevado tamaño y longitud de las plataformas navales las hace potenciales beneficiarias de las antenas de apertura distribuida. Los elementos que forman estas antenas se podrían emplazar en cualquier lugar de la superficie de la plataforma, con lo que se podrían sintetizar aperturas de antena tan grandes como la longitud del buque.

- Plataformas Terrestres: en la mayoría de los sistemas de GE instalados en vehículos terrestres, las antenas deben elevarse una cierta altura sobre el terreno para aumentar su rango de cobertura y sortear los posibles obstáculos (ver fig. 5.1.3-6). Debido a este hecho, en las plataformas terrestres el beneficio de las técnicas de integración de sensores de GE es menor.



Figura 5.1.3-6. Fotografía del Interceptor/Perturbador móvil del MEWSG de la OTAN (Fuente: JANE's Information Group).

5.1.4. Guerra Electrónica en Red

Los continuos avances tecnológicos han permitido el desarrollo de redes de comunicaciones cada vez más extendidas y con capacidad de intercambiar grandes volúmenes de datos a gran velocidad. Este desarrollo ha facilitado la introducción de las tecnologías de red en el teatro de operaciones, lo que se conoce como concepto NEC o NCW.

La capacidad de intercambiar información entre todos los componentes del medio operativo (sensores, elementos de decisión y plataformas de armas), será clave en las operaciones militares del futuro. Este intercambio permitirá disponer, en tiempo real, de la información necesaria para el desarrollo de la misión. Este intercambio de información se realizará mediante la interconexión en una red común de los sistemas y fuerzas que participan en las operaciones, de forma que cada usuario pueda conocer, aprovechar y difundir la información que pueda resultar de interés en cada momento (fig. 5.1.4-1).



Figura 5.1.4-1. Esquema de un escenario típico NEC. Todas las plataformas y sistemas que participan en la operación (aviones de combate, UAVs, buques de guerra, plataformas lanzadoras de cohetes, etc.) están interconectados (Fuente: [17]).

El funcionamiento en red proporcionará ventajas operativas clave, como el Conocimiento Común de la Situación Operativa (SSA), el trabajo cooperativo entre distintas unidades o plataformas, la optimización del uso de los recursos disponibles y la mejora en el proceso de toma de decisión, al disponer de una visión más completa del escenario operativo.

La interconexión de los sensores y sistemas de GE permitirá que dichos equipos funcionen de manera cooperativa, lo que introducirá importantes mejoras tanto en el proceso de geolocalización e identificación de emisores (ESM), como en la efectividad de las contramedidas electrónicas (ECM). La operación en red también facilitará la obtención de la situación táctica común de GE (EW common picture). Por otro lado, el funcionamiento cooperativo permitirá realizar un uso más eficiente de los recursos de GE disponibles.

A continuación se describen con más detalle algunas de las principales ventajas que se obtendrían mediante la utilización cooperativa de los sistemas de GE y mediante su integración en una red NEC:

- Geolocalización de emisores desde múltiples plataformas: en el escenario operativo actual, existe muy poca interacción entre sistemas de guerra electrónica en diferentes plataformas y únicamente bajo petición se comparte

información para obtener mediante triangulación la posición del emisor. En el caso de los sistemas embarcados en plataformas aéreas, la triangulación se puede realizar a partir de las medidas goniométricas obtenidas desde dicha plataforma en distintos instantes de tiempo (es lo que se conoce como Geolocalización de Emisores utilizando una Única Plataforma (SPEG)). En general, estos métodos requieren tiempos de medida largos, por lo que los sistemas que los empleen tendrán dificultades para localizar emisores que son móviles y/o que aparecen repentinamente (emisores «pop-up»).

En este contexto, la geolocalización de emisores utilizando múltiples plataformas coordinadas (MPEG) proporcionaría las siguientes ventajas operativas:

- Mayor rapidez en la localización de emisores y, por lo tanto, mejora en la capacidad de detección de amenazas «pop-up».
- Mayor precisión en dicha localización, debido a que la longitud de la línea base equivaldría en este caso a la distancia entre plataformas.
- Aumento de la extensión del área bajo vigilancia, debido a la utilización de múltiples plataformas.

La geolocalización desde múltiples plataformas requiere no sólo una adecuada sincronización entre los distintos sistemas, sino una red táctica de comunicaciones que permita transferir en tiempo real el volumen de datos obtenidos por las distintas plataformas.

La obtención de la posición de los emisores se podrá realizar mediante diferentes técnicas (interferometría, TDOA, FDOA, etc.). Estas dos últimas técnicas requieren disponer de una sincronización muy precisa entre las distintas plataformas.

- Contramedidas combinadas desde múltiples plataformas: la realización de contramedidas coordinadas desde distintas plataformas podría proporcionar importantes ventajas operativas, entre las que destacan las siguientes:
 - Mayor eficacia en la contramedida, al perturbar el objetivo desde múltiples direcciones y con una mayor potencia.
 - A igualdad de efectos de perturbación sobre el objetivo, la utilización de múltiples plataformas permite rebajar los requerimientos de potencia, ciclo de trabajo y ancho de banda necesarios en los perturbadores, lo que permite reducir el tamaño de estos equipos embarcados.
 - Posibilidad de implementar nuevas técnicas de perturbación.

Por otro lado, la realización de estas contramedidas en un entorno NEC permitiría que las plataformas ESM propias conectadas a la red pudieran

- tomar las medidas adecuadas para evitar ser perturbadas por dichas contramedidas, con lo que se reduciría el «fratricidio» electromagnético.
- Fusión de datos para la identificación de emisores: la operación de las plataformas de GE en un entorno NEC permitiría disponer no sólo de los datos captados por los sensores de ESM, sino también de la información obtenida con otro tipo de sensores (imágenes radar, IR, etc.), así como información de inteligencia. Estos datos podrían complementar a los obtenidos mediante los sensores ESM, facilitando la identificación específica de los emisores detectados (SEI).
 - Gestión más eficiente de los recursos disponibles: la operación coordinada evitará que se empleen recursos de una determinada plataforma ESM en localizar e identificar emisores que ya han sido previamente identificados por otras plataformas ESM, con lo que se podrán dedicar los recursos de proceso de datos a las señales desconocidas y de nueva aparición.

5.1.5. *Sistemas de RF Multifuncionales, Escalables y Modulares*

SISTEMAS MULTIFUNCIONALES

El número de sistemas de RF embarcados en las plataformas militares es actualmente muy elevado y, previsiblemente, seguirá aumentando en los próximos años. Esta proliferación de sistemas se traduce en un aumento en el peso y volumen de la carga de pago que deben transportar dichas plataformas. Además, cada sistema de RF tiene una antena asociada que debe instalarse en la (cada vez más congestionada) superficie de la plataforma. Así, las aeronaves militares actuales requieren en ocasiones hasta 60 antenas diferentes para Comunicaciones, Navegación, Identificación y otros sistemas electrónicos de misión (Radar, GE, etc.), (ver fig. 5.1.5-1). Los buques de guerra también requieren un elevado número de antenas para el desarrollo de su misión. Estos problemas se agudizan en plataformas como los UAVs o aviones de tipo caza, donde el espacio disponible es reducido.

Por otro lado, la existencia de un número tan elevado de sistemas dificulta el mantenimiento de la plataforma, repercutiendo negativamente en su disponibilidad.

Estas dificultades se podrían solucionar mediante la utilización de Sistemas de RF Multifuncionales. Estos sistemas podrían realizar la mayor parte de las funciones electromagnéticas de la plataforma (radar, comunicaciones, ESM, ECM, navegación, etc.) utilizando equipos y antenas de RF comunes, lo que permitiría reducir, en gran medida, el espacio necesario para la instalación de dichos sistemas y antenas.

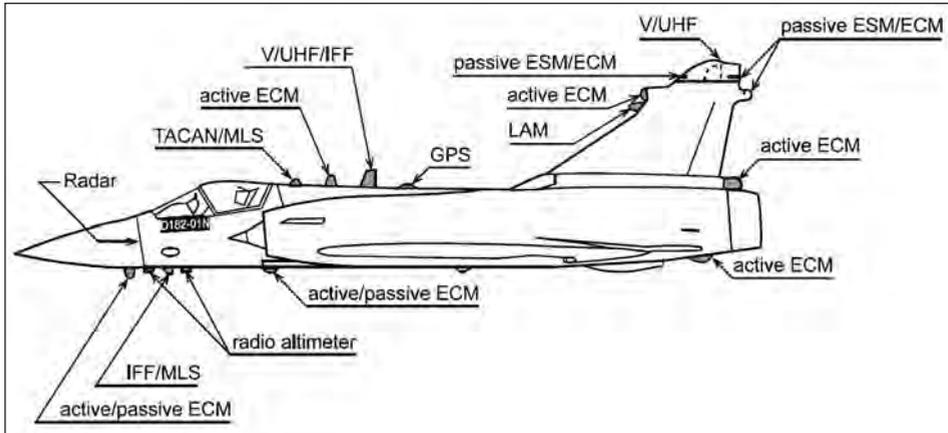


Figura 5.1.5-1. Principales antenas embarcadas en un avión de caza típico. (Fuente: [15]).

Las antenas de los sistemas de RF Multifuncionales deberían ser capaces de adecuarse a los distintos requerimientos de cada una de las funciones que realizan (radar, comunicaciones, etc). Por esta razón, estas antenas deberían ser del tipo Array Activo de Barrido Electrónico o AESA (esta clase de antenas se describirán en detalle en el apartado 5.2.1). Además, dichas antenas deberían tener (al igual que el resto de la cadena de RF) un ancho de banda en frecuencia elevado para poder realizar las distintas funciones. Por otro lado, el equipo común de RF debería tener un elevado margen dinámico y una gran sensibilidad, ya que la potencia de la señal de RF varía mucho de unas aplicaciones a otras (Radar, ESM, etc.).

Por último, señalar que para que los Sistemas de RF Multifuncionales se conviertan en una realidad sería esencial disponer de sistemas de procesamiento digital de gran velocidad y de conversores A/D de elevada velocidad de muestreo. Estos componentes se describirán en el apartado 5.2.4.

SISTEMAS ESCALABLES Y MODULARES

La continua reducción de los presupuestos de Defensa en los distintos países europeos dificulta la introducción de nuevas tecnologías y sistemas de RF. Los costes de estos sistemas incluyen no sólo los de adquisición, sino también los derivados de su mantenimiento y actualización a lo largo del ciclo de vida del producto.

Estos costes podrían reducirse de manera significativa mediante la introducción de sistemas de RF escalables y modulares. El concepto de «escala-

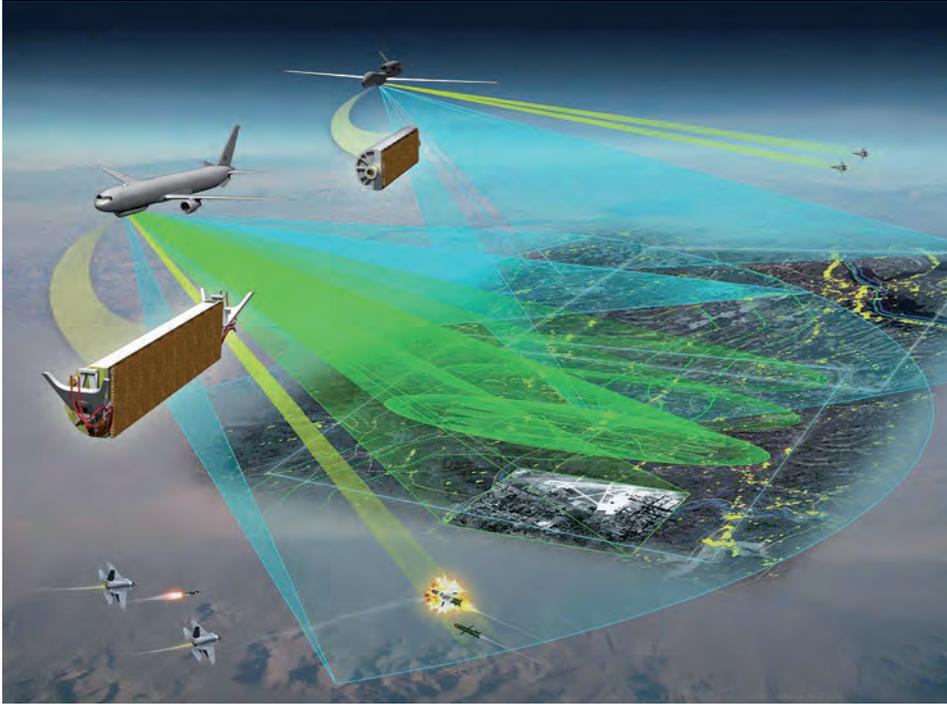


Figura 5.1.5-2. Representación gráfica de un sistema escalable: Radar MP-RTIP de Northrop Grumman y Raytheon, instalable con distintos tamaños en un UAV Global Hawk y en un avión tipo E-8 Joint STARS (Fuente: Northrop Grumman).

bilidad» significa que un mismo diseño de sistema de RF puede aplicarse a plataformas de muy distintas dimensiones, «escalando» su tamaño en función del espacio disponible en dichas plataformas. Los diseños escalables disminuyen los costes de desarrollo de los sistemas de RF, al hacer posible que un diseño común pueda ser aplicable a múltiples plataformas. En la fig. 5.1.5-2 se muestra un ejemplo de este tipo de sistemas escalables (en este caso, un radar MTI/SAR), diseñado para ser instalado en un UAV «Global Hawk» y en un avión tripulado de mayor tamaño como el E-8 Joint STARS.

El concepto de «modularidad» significa que los sistemas de RF se pueden implementar por medio de la interconexión de bloques o módulos estandarizados, de acuerdo con una arquitectura también estandarizada. Estos estándares facilitan que distintos sistemas de RF puedan utilizar bloques comunes, disponibles comercialmente (COTS) y suministrados por distintos fabricantes, lo que no sólo reduce los costes de fabricación de dichos bloques, sino que reduce la dependencia del cliente de un único proveedor.

5.1.6. Equipos de Guerra Electrónica Completamente Digitales y Reconfigurables

Una de las tendencias tecnológicas principales de los sistemas de GE es el desarrollo de receptores digitales. Esta tendencia viene condicionada por el desarrollo y evolución continua de las tecnologías de digitalización y proceso, que favorecen la aparición de sistemas que permiten adaptar su funcionamiento a diferentes situaciones o necesidades operativas mediante la programación de dispositivos HW (principalmente FPGA) y algoritmos específicos.

Sirva de ejemplo la tecnología en desarrollo de radio SW (SDR) (ver fig. 5.1.6-1), que permite que un único equipo de comunicaciones pueda incluir un número casi ilimitado de modulaciones, de forma que el equipo tenga la capacidad de adaptarse en cada momento al tipo de red o enlace de comunicaciones existente. Otro ejemplo se tiene en los trabajos desarrollados para definir un radar reconfigurable por SW, que permite modificar dinámicamente los parámetros de la forma de onda emitida para adaptarse a la misión que en cada momento se le encomiende. Esta capacidad de reconfiguración dificulta la detección e identificación de dichos radares por parte de los equipos de GE.

Los nuevos desarrollos de equipos de GE incluyen receptores digitales, que presentan numerosas ventajas tales como:

- Capacidad de trabajar en ambientes más densos y con señales que coincidan en el tiempo.
- Capacidad para trabajar en ambientes en los que coexistan señales pulsadas y de onda continua.
- Facilidad de reprogramación para poder adaptarse a diferentes misiones.
- Incremento de la sensibilidad respecto a receptores analógicos de banda ancha.



Figura 5.1.6-1. Prototipo del Programa TERSO (Terminal Radio Software). Plataforma SDR española de entrada al Programa ESSOR. (Fuente: Ministerio de Defensa).

La facilidad de reprogramación en un futuro podría permitir que un mismo receptor, además de poder programarse para realizar diferentes misio-

nes (búsqueda de emisores determinados, detección de señales LPI, misiones de inteligencia y recolección de determinado tipo de información, detección de emisores específicos, etc.), pueda utilizarse en diferentes funciones (radio SW, generador de formas de onda para equipos ECM, funciones de GE tanto de comunicaciones como de no comunicaciones, etc.). Esta facilidad de programación ya se está analizando actualmente principalmente para poder utilizar la SDR con funciones COMINT.

Los nuevos sistemas tendrán una arquitectura HW multifuncional común, que incluirá una etapa de digitalización cuyas principales características será su gran ancho de banda y margen dinámico. La señal digitalizada pasará por dispositivos que permitan realizar un proceso HW específico, a alta velocidad y que sea reprogramable (formado por dispositivos FPGA) y los datos salientes podrán ser procesados con procesadores de propósito general o procesadores digitales de señal.

5.1.7. Sistemas de Autoprotección Integrados

La disminución del tiempo de reacción ante amenazas pop-up (amenazas que aparecen repentinamente) y la necesidad de disminuir la tasa



Figura 5.1.7-1. F-18 en Madrid. Para una protección eficaz de las plataformas es necesario disponer de sistemas de autoprotección integrados. (Fuente: Ministerio de Defensa).

de falsas alarmas ha hecho necesaria la integración de los sistemas de detección y los sistemas de defensa para poder combatirla de una forma efectiva.

Este proceso de integración, de los sistemas de autoprotección, ya se está realizando en los desarrollos actuales. La tendencia futura será la mejora de los sensores para aumentar su fiabilidad y disminuir el tiempo de alerta, y para incluir nuevos medios de combate EM (láser, ECM, señuelos, etc.) que permitan evitar la amenaza.

Los sensores deberán ser capaces de detectar las amenazas con diferentes formas de guiado que cubren gran parte del espectro electromagnético (RF, EO, láser y UV). Para poder disminuir la tasa de falsas alarmas será necesario que dichos sensores estén integrados (fusionen la información procedente de sensores diferentes), sean multiespectrales y en el futuro tengan la posibilidad de detectar su firma (espectro IR, firma EO, identificación del láser, identificación del radar).

Por otro lado, será necesario mejorar los dispositivos de combate EM y sus técnicas de contramedidas, lo que exigirá señuelos que imiten la firma de la plataforma tanto en sus componentes espectrales como en sus características cinemáticas (señuelos multiespectrales autopropulsados) y se disponga de técnicas combinadas que puedan combatir guiados complejos (incluyan más de una técnica de guiado o dispongan de medidas de protección avanzadas).

5.1.8. *Sistemas de Energía Dirigida de RF para el Ataque Electrónico*

Desde los inicios de la GE, las formas más utilizadas de Ataque Electrónico han consistido en la perturbación y el engaño de los sistemas electrónicos del enemigo, debido principalmente a que no se podía generar la suficiente potencia electromagnética para destruir estos sistemas. Esta situación cambiará con la futura introducción en el escenario de operaciones de las *Armas de Energía Dirigida de RF (RF-DEW)*.

Las armas de energía dirigida de RF pueden generar niveles de potencia de RF lo suficientemente elevados para inutilizar temporalmente o incluso destruir los sistemas electrónicos de la amenaza. En el caso de que los sistemas electrónicos sean los encargados del guiado de una plataforma militar (aeronave, carro de combate, etc), el ataque con un arma de energía dirigida podría provocar que dichas platafor-

mas se comportaran de manera errática o que se volvieran completamente inoperativas (en el caso de las aeronaves, éstas podrían perder el control y estrellarse contra el suelo). Los ataques con estas armas podrían también dirigirse hacia los sistemas de mando, control y comunicaciones del enemigo, deteriorando gravemente su capacidad de combate.

En lo que se refiere a los sistemas de armas, un ataque con energía dirigida podría destruir la electrónica de los sistemas de ignición de dichas armas. Niveles excepcionalmente elevados de energía de RF podrían incluso hacer detonar proyectiles de artillería, bombas y cabezas de guerra de misiles, aunque para poder provocar estos efectos el arma de energía dirigida debería estar muy próxima a estos objetivos.

Los componentes electrónicos que son más vulnerables a las armas de energía dirigida son los dispositivos basados en semiconductores (microchips, transistores, amplificadores de estado sólido, etc.). La utilización cada vez más extendida de estos dispositivos y el constante incremento de la complejidad de los circuitos ha ocasionado que los sistemas electrónicos actuales sean muy susceptibles al ataque con energía dirigida.

La potencia máxima que puede generar un arma de energía dirigida de RF está limitada por el campo de ruptura dieléctrica de la atmósfera (es decir, el valor de campo eléctrico que provoca la ionización de la atmósfera). Este límite implica que no se pueden propagar haces de energía dirigida de potencia superior a 10 GW, y es la principal razón por la que estas armas de RF no pueden provocar daños estructurales a distancia.

Según la forma de generar la potencia de RF, las armas de energía dirigida se pueden clasificar en Explosivas y No-Explosivas. Ambos tipos de RF-DEW se describen en detalle en los siguientes subapartados.

5.1.8.1. RF-DEW EXPLOSIVAS

En este tipo de armas, la energía para la generación del pulso electromagnético se obtiene a partir de una carga explosiva. Esta característica determina que dichas armas sean de un único uso, ya que la detonación necesaria para generar el pulso de energía electromagnética destruye también el propio dispositivo generador.

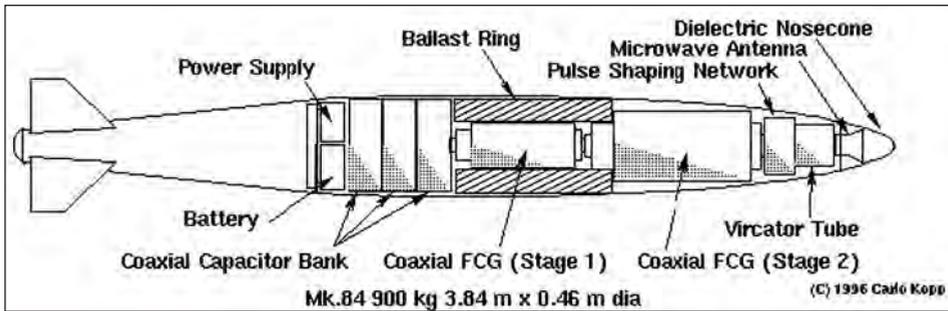


Figura 5.1.8-1. Esquema conceptual de una RF-DEW explosiva. La plataforma se corresponde con un misil de crucero Mk.84. (Fuente: [20]).

En la fig. 5.1.8-1 se muestra el esquema básico de una RF-DEW explosiva. Estas armas de energía dirigida se basan en dos tecnologías principales:

- Generadores de Compresión de Flujo mediante Explosivos (EPFCG): estos dispositivos son capaces de producir corrientes eléctricas muy elevadas (del orden de decenas de Mega Amperios) por medio de la compresión súbita de un campo magnético generado por un bobinado. Esta rápida compresión se consigue mediante una detonación explosiva. Para conseguir corrientes de salida elevadas, se pueden conectar en cascada varios de estos generadores EPFCG.
- Oscilador de Cátodo Virtual (VIRCATOR): este dispositivo es capaz de producir un pulso electromagnético de elevada potencia en la banda de frecuencias de microondas. La física en la que se basa este dispositivo es algo más compleja que la del EPFCG, por lo que no se abordará su descripción, aunque sí se mencionará que el pulso de alta potencia generado se puede radiar al exterior mediante una antena directiva, lo que permite concentrar en el objetivo la mayor parte de la energía electromagnética generada (ver fig. 5.8.1-2).

Además de estos elementos, las RF-DEW explosivas incorporan diversas fuentes de alimentación (baterías, bancos de condensadores, etc.) para poder generar los campos magnéticos que necesitan los EPFCG.

Las plataformas idóneas para el transporte de este tipo de arma serían misiles de crucero o bombas planeadoras. Por un lado, los tamaños de los dispositivos generadores del pulso electromagnético (EPFCGs, VIRCATOR, etc.) no son demasiado grandes, por lo que pueden instalarse sin mucha dificultad en este tipo de plataformas. Por otro lado, estas plataformas permiten detonar el arma de energía electromagnéti-

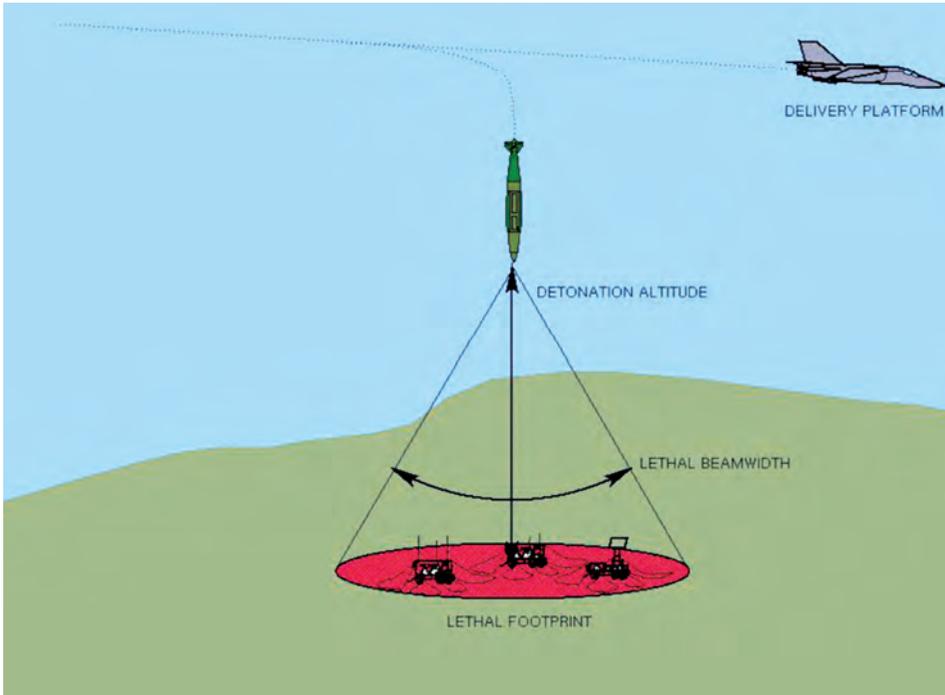


Figura 5.1.8-2. Esquema de un ataque mediante RF-DEW explosiva. La utilización de una antena direccional unida al VIRCATOR permite concentrar la energía electromagnética sobre el objetivo. (Fuente: [20]).

ca a una cierta altura sobre el terreno, lo que mejora el alcance y efectividad de la misma (no se ve obstaculizada por la orografía del terreno, como ocurriría en el caso de utilizar estas armas desde plataformas terrestres).

Las RF-DEW explosivas embarcadas en misiles o bombas también reciben el nombre de Bombas Electromagnéticas o Bomba-E. A pesar de que muchos de los aspectos relacionados con las armas de energía dirigida están clasificados, existen evidencias de que distintos tipos de misiles de crucero han podido ser modificados para transportar RF-DEW explosivas. Entre estos misiles se incluye el ALCM de la USAF, el Tomahawk de la Armada de EE.UU. y misil JASSM de Lockheed Martin. Por otro lado, la empresa EADS-LFK reveló en 2005 sus planes para implementar una versión RF-DEW explosiva del misil Taurus KEPD 350. Otros países, como Reino Unido, Francia y Rusia, también han realizado estudios sobre este tipo de armas. La empresa MBDA estuvo realizando



Figura 5.1.8-3. Misiles de crucero «Storm Shadow» en un Tornado GR.4 (son los dos misiles situados debajo de la parte central del fuselaje). (Fuente: MBDA).

estudios sobre la posibilidad de transportar una RF-DEW explosiva en el misil de crucero de tipo «Storm Shadow» [21] (ver fig. 5.1.8-3).

5.1.8.2. RF-DEW NO EXPLOSIVAS

Este tipo de armas obtienen su energía a partir de generadores y fuentes de alimentación electrónicos de alta potencia. Debido a que la fuente de energía no es explosiva, el arma admite múltiples disparos (en teoría, mientras los generadores aportaran energía, el arma se podría disparar indefinidamente). En este tipo de armas, los equipos necesarios para generar la elevada energía electromagnética son muy pesados y voluminosos, por lo que su instalación sólo se puede efectuar en plataformas de gran tamaño.

Entre las posibles aplicaciones de este tipo de armas destacan las siguientes:

- Lucha Contra Artefactos Explosivos Improvisados (C-IED): en conflictos asimétricos como las actuales misiones de Afganistán y Líbano. Los IEDs constituyen una de las principales amenazas para las tropas internacionales desplegadas, y han sido la causa de un número muy elevado de bajas en dichas fuerzas. En el caso de los IEDs activados a distancia por radio (RC-IED), la manera de contrarrestar esta amenaza consiste en perturbar, mediante equipos inhibidores, la banda de fre-



Figura 5.18-4. Sistema C-IED «Ambush Terminator» de Rheinmetall, instalado sobre un vehículo blindado TM 170. Las antenas emisoras están situadas en la parte frontal y en los laterales del vehículo (Fuente: Rheinmetall Defence).

cuencias en la que opera el RC-IED, para evitar que éste pueda recibir la señal de activación. Desafortunadamente, si los IEDs se activan con otro mecanismo distinto de una señal radio, los inhibidores no podrán evitar la detonación del artefacto.

En este contexto, las armas de energía dirigida de RF podrían generar la suficiente potencia, no sólo para evitar la activación por radio del IED, sino también para destruir la electrónica de su mecanismo de activación o incluso provocar la detonación a distancia de dicho IED, lo que permitiría también neutralizar los artefactos explosivos no activados por radio. En la fig. 5.1.8-4 se muestra un ejemplo de este tipo de sistemas, basado en tecnologías UWB-HPEM. Según el fabricante, este sistema es capaz de detonar a distancia tanto IEDs activados por radio como IEDs activados por sensores.

- Detención a Distancia de Vehículos: en lo conflictos asimétricos actuales, un gran número de los ataques suicidas contra las fuerzas internacionales se produce utilizando vehículos rápidos cargados de explosivos que se lanzan contra las instalaciones o los vehículos utilizados por dichas fuerzas. En el caso de los buques de guerra, el intenso tráfico marítimo cerca

de los puertos hace muy difícil detectar y evitar que una embarcación rápida y pequeña cargada de explosivos pueda impactar contra dichos buques, como ocurrió en el caso del ataque terrorista contra el destructor USS Cole en el puerto de Adén (Yemen) en octubre del año 2000. En estos escenarios, las armas de energía dirigida de RF podrían utilizarse para destruir los sistemas electrónicos de los vehículos suicidas, lo que provo-

caría su detención antes de que impactaran contra sus objetivos. En la fig. 5.1.8-5 se muestra un esquema de este tipo de sistemas.

- Protección de Aeronaves contra Misiles: la elevada potencia generada por las RF-DEW podría utilizarse para neutralizar o destruir los sistemas electrónicos de guiado de los misiles tierra-aire tipo MANPAD. Sin embargo, el elevado peso y volumen de estas RF-DEW dificulta su instalación en helicópteros y aviones de combate, por lo que una aplicación más realista debería considerar su instalación en plataformas terrestres para la protección de aeronaves durante la fase de despegue o aterrizaje en un aeropuerto. Este es el caso del sistema representado en la fig. 5.1.8-6, donde un haz de microondas de alta potencia (generado por una antena de apuntamiento electrónico en tierra) se dirige hacia el misil para perturbar sus sistemas de guiado. El sistema de la fig. 5.1.8-6 ha sido diseñado para su instalación en aeropuertos civiles, aunque Raytheon pretende desarrollar en el futuro versiones desplegables para la protección de aeródromos en la misma zona de operaciones.

Para finalizar, es importante señalar que la introducción de las armas de energía dirigida de RF en el escenario de operaciones obligará a introducir modificaciones en el diseño de los sistemas electrónicos de las plataformas e instalaciones militares, de tal manera que puedan estar razonablemente protegidas frente a un ataque con dichas armas. Por otro lado, la necesidad de minimizar el impacto de estos ataques sobre las plataformas militares introducirá algunos cambios en la doctrina de utilización de dichas plataformas, de tal manera que se definirán los procedimientos y tácticas adecuadas para reducir la probabilidad de

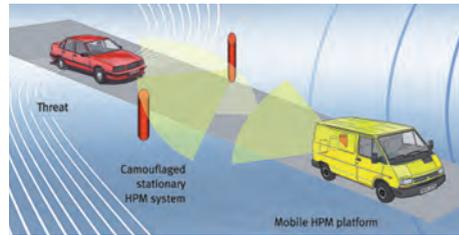


Figura 5.1.8-5. Esquema conceptual de detención de vehículos mediante sistemas RF-DEW basados en Microondas de Alta Potencia (HPM). Estos sistemas podrían estar fijos (para protección perimetral) o instalados en un vehículo. (Fuente: Rheinmetall).

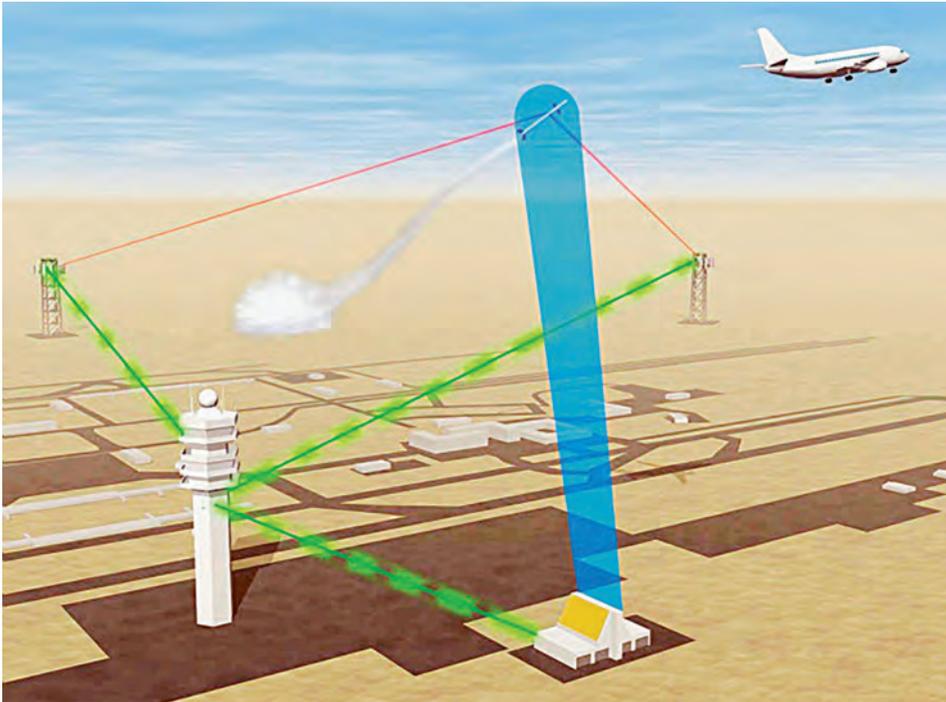


Figura 5.1.8-6. Esquema de funcionamiento del sistema «Vigilant Eagle» de Raytheon, actualmente en desarrollo. El misil MANPAD es desviado por medio de un haz de microondas de alta potencia (indicado en color azul), que perturba los sistemas de guiado del misil. (Fuente: Raytheon).

que una plataforma se encuentre dentro del radio de acción de una RF-DEW.

5.2. Tecnologías

Son muchas las tecnologías implicadas en el desarrollo de los sistemas de GE, por lo que describir todas podría resultar demasiado extenso. Por esta razón, se ha optado por incluir en esta monografía únicamente las que se considera que más van a influir en el futuro desarrollo de nuevos sistemas de GE. Estas tecnologías son:

1. Antenas de tipo Array Activas de Barrido Electrónico (AESA).
2. Monolithic Microwave Integrated Circuits (MMICs).
3. Nitruro de Galio (GaN).
4. Sistemas Digitales.
5. Sensores Multiespectrales.

5.2.1. Antenas de tipo Array Activas de Barrido Electrónico (AESA)

5.2.1.1. INTRODUCCIÓN

Desde su introducción en la década de 1950, los arrays (8) de barrido electrónico o ESA no han hecho más que experimentar continuos avances técnicos, generalizándose su empleo en un gran número de aplicaciones. Mientras que en las antenas convencionales el apuntamiento del haz se consigue mediante el giro mecánico de la antena hacia la dirección de interés, en los arrays de barrido electrónico dicho apuntamiento se consigue de manera electrónica, no siendo necesario realizar ningún tipo de movimiento mecánico de la antena. En la fig. 5.2.1-1 se muestra un ejemplo de antena de apuntamiento electrónico.

La principal ventaja que proporcionan los arrays de barrido electrónico, frente a las antenas de barrido mecánico es la gran rapidez con la que pueden desplazar el haz de un punto a otro del espacio. Además, los arrays ESA permiten la síntesis de varios haces independientes del diagrama de radiación. Ambas características (rapidez de apuntamiento y formación de múltiples haces) permiten que los radares que utilizan

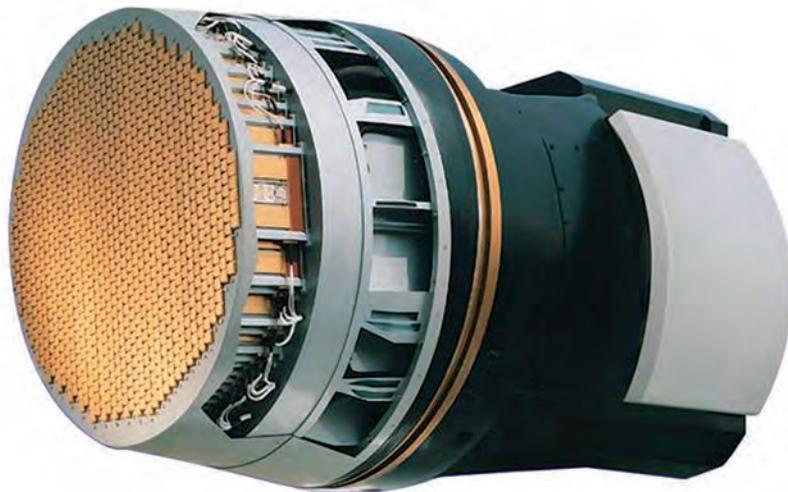


Figura 5.2.1-1. Radar AMSAR (Airborne Multirole multifunction Solid-state Active-array Radar). Antena de tipo AESA. (Fuente: Thales).

(8) En el ámbito de las tecnologías de RF, el vocablo inglés *array* se traduce al castellano como «agrupación de antenas». Sin embargo, dada la gran difusión y aceptación del término *array*, se ha optado por no traducirlo en el resto del capítulo.

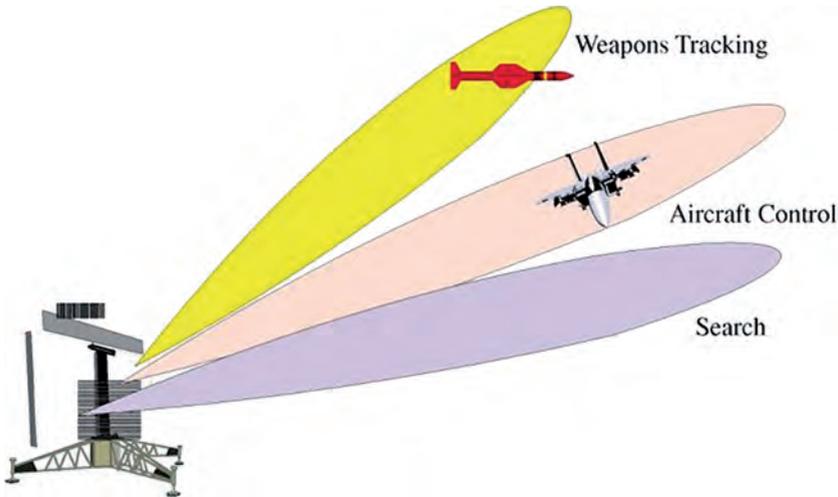


Figura 5.2.1-2. Formación de múltiples haces en un radar ESA. Cada haz se dedica a una función diferente. (Fuente: [29]).

antenas ESA puedan realizar el seguimiento casi simultáneo de un gran número de objetivos, o bien que puedan emplear cada haz en distintas funciones (exploración, seguimiento, etc.) (fig. 5.2.1-2).

Por otro lado, la ausencia de partes móviles en los arrays de apuntamiento electrónico mejora sustancialmente la fiabilidad del sistema completo de antena.

El número de elementos de los arrays de barrido electrónico varía en función del tipo de aplicación. Por ejemplo, en los radares embarcados en aviones de combate (FCR) el número típico de elementos es del orden de 1000.

Los arrays de apuntamiento electrónico más extendidos son los denominados «pasivos» (PESA). En este tipo de antenas, la potencia radiada es generada por un único transmisor central que distribuye la señal a todos los elementos del array. El apuntamiento del haz se consigue por medio de desfases situados detrás de cada elemento (o grupo de elementos) del array. En recepción, el camino es el inverso, combinándose las señales recibidas por los elementos del array hacia un amplificador de bajo ruido (LNA) central.

Debido a que la señal generada por el transmisor central de la antena PESA debe distribuirse a todos los elementos del array, dicho transmisor debe proporcionar un elevado nivel de potencia de RF, para lo cual es

necesario utilizar amplificadores de tubos de vacío (TWTs, etc.). Por otro lado, este elevado nivel de potencia obliga a utilizar guías de onda para la distribución de la señal a los elementos del array, lo que contribuye a aumentar el peso y el volumen del sistema de antena. En recepción, las elevadas pérdidas de energía que se producen antes de que la señal combinada de los elementos del array llegue al LNA (pérdidas debidas a los desfasadores, red de distribución de potencia, etc.) degradan la sensibilidad teórica del sistema, lo que en el caso de los radares y de los sistemas ESM se traduce en una reducción significativa en su alcance.

Los inconvenientes de las antenas PESA se podrían solucionar con los denominados Arrays Activos de Barrido Electrónico (AESA). En este tipo de arrays, no existen un transmisor y receptor central, sino que cada elemento del array dispone de su propio módulo transmisor/receptor, que integra las funciones de desfasaje, amplificación de potencia en transmisión, amplificación de bajo ruido en recepción, conmutación transmisión/recepción, etc.). En comparación con las PESAs, las antenas AESAs proporcionan las siguientes ventajas:

- Reducción del peso y volumen de la antena: debido a que la potencia que tiene que generar cada módulo T/R es mucho menor (9) que la que generaría el transmisor central de una antena PESA equivalente, es posible sustituir los pesados y voluminosos TWTs por amplificadores de estado sólido (GaAs, GaN), más ligeros y compactos. Estos dispositivos se pueden integrar con el resto de los elementos del módulo T/R (desfasadores, LNAs, etc.) en un mismo circuito MMIC. Por otro lado, el nivel de potencia de señal que circula por la red de distribución es mucho más reducido que en las PESAs (debido a que en las AESAs la generación de potencia se produce a nivel de cada elemento del array), lo que permite sustituir la pesada y voluminosa red de distribución de guías de onda por una red de distribución basada en tecnología impresa (microstrip, etc.), cuyo peso y tamaño es considerablemente menor.
- Mejora de la sensibilidad del sistema: las AESAs permiten situar los amplificadores LNA muy próximos a los elementos del array, lo que proporciona una sensibilidad en recepción varias veces superior a la que se obtendría con una antena PESA equivalente.
- Capacidad avanzada de formación de haces: la posibilidad de controlar en cada elemento del array no sólo la fase, sino también la amplitud de la señal permite sintetizar diagramas de radiación con mejores prestaciones. Por otro lado, el hecho de cada elemento disponga de su propio módulo

(9) Es aproximadamente N veces menor, siendo N el número de elementos del array.

T/R permite una gran flexibilidad a la hora de agruparlos entre sí para realizar múltiples tareas en paralelo (por ejemplo, parte de los elementos pueden dedicarse a funciones ESM, mientras que otros pueden emplearse en transmitir información por medio de un enlace de datos táctico).

- Aumento de la fiabilidad: la existencia en las AESAs de un elevado número de módulos T/R proporciona al sistema una gran robustez y tolerancia frente a fallos. Así, cuando un módulo T/R deja de funcionar, las prestaciones del sistema no se degradan de manera importante. A medida que se van produciendo fallos en otros módulos, las prestaciones del sistema se siguen degradando paulatinamente, pero la antena sigue funcionando. Esta característica supone una diferencia fundamental con las antenas PESAs, en las que cualquier fallo en el único transmisor/receptor que poseen provoca que estas antenas dejen de funcionar completamente.

A pesar de estas ventajas, el desarrollo de las antenas AESAs se enfrenta todavía a importantes desafíos tecnológicos, entre los que destacan el desarrollo de módulos T/R compactos y ligeros y la reducción del elevado coste de fabricación de dichos módulos T/R.

5.2.1.2. AMPLIFICACIÓN DE ESTADO SÓLIDO

En general, los MMICs que constituyen los módulos T/R de las antenas AESA actuales se fabrican en tecnología de Arseniuro de Galio (GaAs). Esta tecnología es especialmente adecuada para aplicaciones de alta frecuencia, como los radares aerotransportados que operan en banda X (de 8 a 12,5 GHz). Sin embargo, una de las principales limitaciones del GaAs es su baja conductividad térmica, que obliga a disipar el calor generado en los amplificadores de los MMIC por medio de complejos circuitos de refrigeración.

El GaAs mantendrá su papel central en las tecnologías de AESAs hasta que se desarrolle la tecnología de Nitruro de Galio (GaN). Las propiedades de este material se describen en el apartado 5.2.3.

Una descripción más detallada de los MMICs se encuentra en el apartado 5.2.2.

5.2.1.3. CONTRIBUCIÓN DE LAS AESAS A LAS TENDENCIAS FUTURAS DE GE

Las antenas AESAs constituirán una parte fundamental de los futuros sistemas de GE, como se deduce de su importante contribución a las tendencias principales descritas en el apartado 5.1.:

- Integración de sensores en la estructura de la plataforma: las AESAs en configuración tile (ver apartado 5.2.2) permitirán la síntesis de arrays conformables extremadamente versátiles, que se podrán adaptar a la geometría de cualquier superficie de la plataforma. Esta característica se deriva del hecho de que los elementos de las AESAs forman unidades en cierto sentido «independientes» (cada elemento tiene su propio módulo T/R), lo que proporciona una gran flexibilidad a la hora de situarlos en la superficie de la plataforma para formar la apertura de la antena array. Además, el reducido espesor de los módulos tile facilita que la AESA se pueda adaptar a la geometría de la plataforma, sin deteriorar ni el comportamiento dinámico ni la firma radar de dicha plataforma.
- Sistemas escalables: las AESAs facilitarán el diseño de sistemas escalables, ya que permiten la síntesis de antenas de distintos tamaños simplemente variando el número de módulos T/R utilizados.
- Sistemas multifuncionales: debido a que cada elemento de la AESA tiene su propio módulo T/R, es posible agrupar dichos elementos en conjuntos que realicen distintas tareas de manera simultánea. Por esta razón, las AESAs pueden ser elementos clave de los futuros sistemas multifuncionales.
- Reducción del Peso de los sistemas de GE: la reducción del peso y volumen de la antena que se consigue mediante la utilización en las AESAs de la tecnología de estado sólido facilitará la implementación de sistemas de GE portátiles e integrables en UAVs de pequeño tamaño.

5.2.2. *Monolithic Microwave Integrated Circuits (MMICs)*

Los circuitos MMICs que constituyen los módulos T/R de las AESAs se disponen habitualmente en dos configuraciones: brick (ladrillo) y tile (baldosa). En la configuración brick, los MMICs adoptan la forma de placas alargadas de circuito impreso que se sitúan en un plano ortogonal a la apertura de la antena. El espesor de estos circuitos suele ser reducido, debido a que están formados por un número reducido de capas de circuito impreso (típicamente 2-3 capas). En la fig. 5.2.2-1 se muestra un ejemplo de este tipo de módulos T/R.

En la configuración tipo tile los módulos T/R se implementan como circuitos MMIC de un gran número de capas que se sitúan paralelos a la apertura de la antena, justo debajo de cada elemento del array. La utilización de esta configuración en vez de la brick permite reducir en gran medida el espesor de las antenas AESA, lo que no sólo facilita la síntesis de arrays conformables que pueden ser integrados en la estructura de

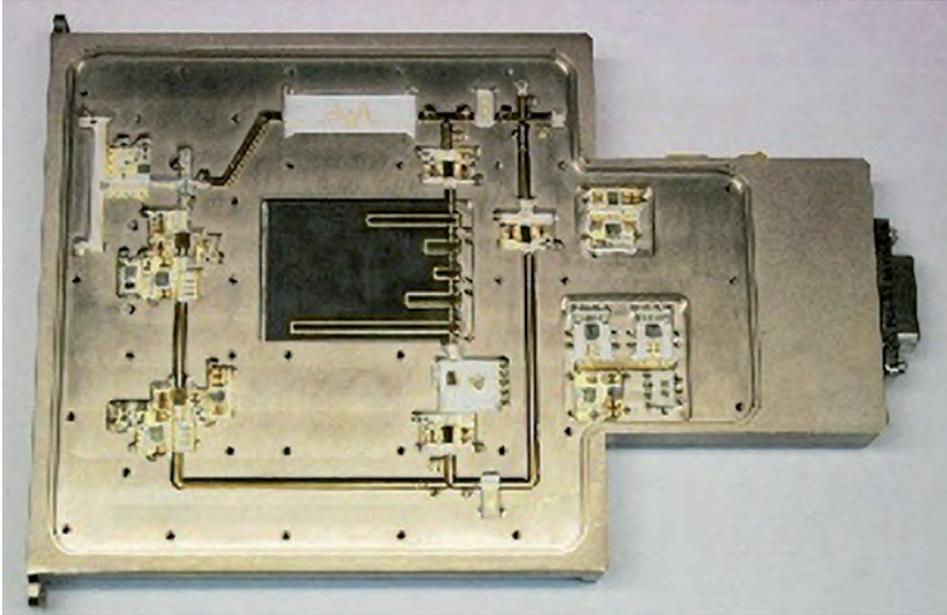


Figura 5.2.2-1. Módulo T/R tipo brick (Fuente: Ministerio de Defensa / INDRA).

las plataformas (apartado 5.1.3.), sino que simplifica el diseño y desarrollo de antenas escalables (apartado 5.1.5).

En la fig. 5.2.2-2 se representa la sección de un módulo tile típico, en el que se observa que el propio elemento radiante del array ha sido inte-

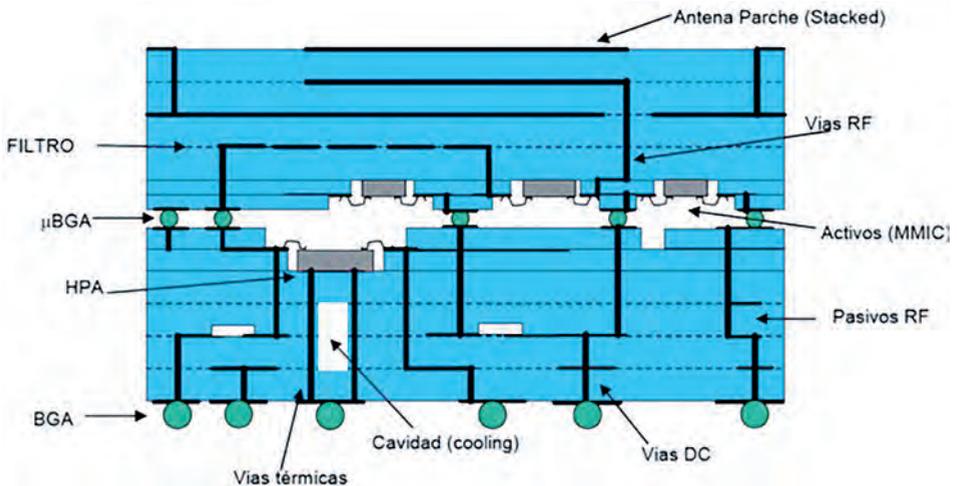


Figura 5.2.2-2. Sección esquemática de un módulo T/R tipo tile (Fuente: Grupo de Microondas y Radar (UPM)).

grado en el módulo. Esta integración permitiría disponer de módulos T/R fácilmente instalables y sustituibles en caso de fallo, lo que reduciría los costes de mantenimiento de estos sistemas.

Para la implementación de módulos T/R de tipo tile resultan de gran importancia las tecnologías para la realización de circuitos de RF en estructuras 3D (LTCC, etc.).

5.2.3. Nitruro de Galio (GaN)

La tecnología de estado sólido de Nitruro de Galio promete incrementar en uno o dos órdenes de magnitud la potencia que se puede obtener con la tecnología actual de amplificadores de GaAs. Además, el GaN permite fabricar dispositivos de RF con capacidad de operar en un amplio rango de frecuencias (dispositivos de banda ancha). Estas propiedades se derivan de las especiales características del GaN: elevada conductividad térmica, elevado campo eléctrico de ruptura y elevada impedancia de salida.

El nitruro de galio también puede utilizarse para implementar amplificadores de bajo ruido (LNA). Debido al elevado valor del campo eléctrico de ruptura, los LNA de GaN son más resistentes que los de GaAs frente a niveles elevados de potencia de entrada (que puede provenir, por ej., de un perturbador externo). El resto de elementos del módulo T/R (conmutadores, desfasadores, etc.) también se podrían realizar con tecnología de nitruro de galio, lo que reduciría los costes de fabricación al permitir que el módulo completo se fabrique con un mismo proceso tecnológico.

Debido a las excepcionales propiedades del nitruro de galio, se le considera un semiconductor de importancia estratégica para Defensa. Esto justifica iniciativas como el proyecto KORRIGAN, destinado a promover el desarrollo en Europa de la tecnología de GaN para evitar la dependencia de suministradores extranjeros. En la fig. 5.2.3-1 se muestra un transistor HEMT multi-puerta de GaN desarrollado dentro de esta iniciativa europea.

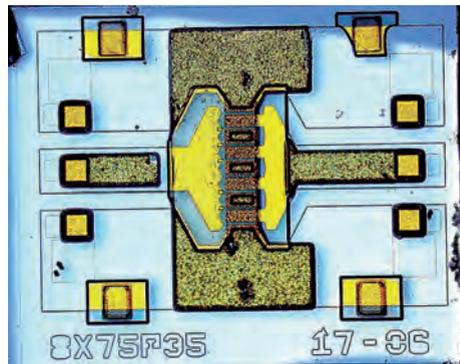


Figura 5.2.3-1. Transistor HEMT de GaN
(Fuente: Ministerio de Defensa / Consorcio KORRIGAN).

5.2.4. Sistemas Digitales

5.2.4.1. INTRODUCCIÓN

Una de las tendencias principales en la evolución de sistemas de GE es la recepción digital, cuyo objetivo es sustituir los sistemas analógicos convencionales por sistemas digitales.

Los receptores digitales están formados por una etapa de conversión analógico/digital de gran ancho de banda y elevado margen dinámico, que proporcionará un flujo continuo de datos a dispositivos HW (FPGA) encargados de realizar un tratamiento de señal programable pero específico de la aplicación que se quiera implementar. Los resultados obtenidos se tratarán con procesadores de señal o procesadores de propósito general y algoritmos especiales (ver fig. 5.2.4-1).



Figura 5.2.4-1. Procesador de propósito específico de un receptor digital (Fuente: INDRA).

Los datos deberán estar sincronizados, de forma que puedan aplicarse algoritmos que permitan asociar y procesar la información procedente de varias plataformas.

Las principales tecnologías involucradas en los receptores digitales serán los conversores A/D (analógico/digitales) avanzados de gran ancho de banda, elevado margen dinámico y bajo consumo, los procesadores digitales de señal (DSPs y FPGAs) de mayor velocidad, mayor capacidad de proceso y menor consumo y los nuevos algoritmos que se implementarán en dichos procesadores.

5.2.4.2. DIGITALIZADORES

Un convertidor analógico-digital (A/D) debe realizar dos funciones principales sobre la señal: (a) Muestreo y retención de la misma durante un tiempo determinado, donde el parámetro crítico es el periodo de muestreo (frecuencia de muestreo) y (b), Cuantificación en un número determinado de niveles. El logaritmo en base 2 del número de niveles determina el número de bits del convertidor A/D, de manera que un convertidor A/D con 1024 niveles es un convertidor A/D de 10 bits. Existen, sin embargo, restricciones temporales y de amplitud que reducen las prestaciones de los conversores A/D. Esta disminución de la efectividad se refleja en el concepto de Número Equivalente

de Bits (ENOB), que determina el margen dinámico efectivo de estos dispositivos.

Las limitaciones que afectan a la efectividad de los conversores A/D son principalmente las siguientes (ver fig. 5.2.4-2): ruido (térmico, shot, flicker, etc.) que se integra durante el periodo de muestreo; jitter, incertidumbre en el muestreo

debida al ruido de fase en el reloj, que limita la precisión con la que la señal de entrada es muestreada; y el grado de ambigüedad en el comparador empleado en el proceso de conversión, que se traduce en un tiempo de retardo para generar la señal digital (frecuencia de transición). Cuanto mayor sea esta frecuencia, mayor podrá ser la frecuencia de muestreo del conversor A/D.

ESTADO DEL ARTE

El estado del arte actual en el campo de los conversores A/D se centra en dispositivos con grandes velocidades de muestreo y con una alta ENOB, existiendo un compromiso entre ambas características. Estas limitaciones afectan directamente a las unidades de procesamiento de señal (DSP, FPGAs, etc.) que reciben como entrada la señal digital de salida de los conversores A/D. Estos dispositivos de procesamiento de señal esperan señales digitales que deben cumplir requisitos específicos, tanto en el dominio temporal (tiempos de transición, jitter temporal, etc.) como en el de la frecuencia (ancho de banda principalmente). Es decir, el conversor A/D se convierte así en el elemento crítico determinante en los sistemas de adquisición y procesamiento de señales.

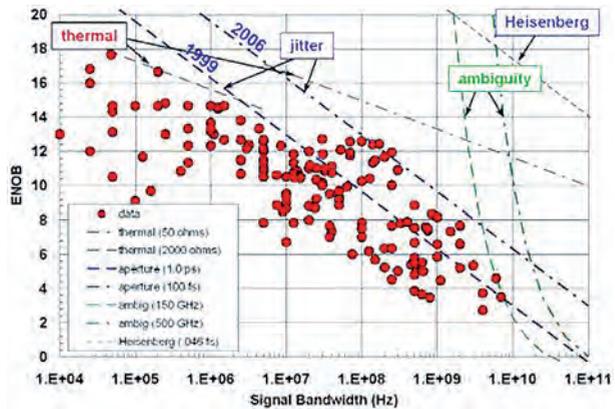


Figura 5.2.4-2. Gráfica del número efectivo de bits (ENOB) frente a la frecuencia de un conversor A/D (Fuente: [42]).



Figura 5.2.4-3. Conversor A/D de última generación (Fuente: INDRA).

En la actualidad, los conversores A/D electrónicos de mayores prestaciones respecto a ENOB alcanzan un valor de ENOB igual a 10, con frecuencias de muestreo de hasta 2.2 GSps (Giga Samples Per Second). Si el interés se centra en la frecuencia de muestreo, existen dispositivos de hasta 20 GSps, eso sí, con ENOB en torno a 4.6 ó 5.

TENDENCIAS ACTUALES

La tecnología en la que se centra la línea de evolución de los conversores A/D es la fotónica. Las ventajas más relevantes que aporta esta tecnología son:

- Láseres de enganche de modos que permiten producir trenes de pulsos muy estrechos y con jitter temporal muy por debajo del de la circuitería electrónica, que pueden emplearse como relojes o para muestreo óptico de precisión.
- Desacoplo de las señales muestreada (electrónica) y de muestreo (óptica).
- Niveles bajos de señales espurias y de ruido: Señales ópticas muy «limpias».
- Grandes anchos de banda mediante el uso de moduladores Mach-Zehnder.
- Nuevas técnicas de tratamiento de la señal que no son posibles en el mundo electrónico, como el estiramiento temporal de señales ópticas.

En función de la parte del proceso de conversión analógico-digital que se realice fotónicamente, los conversores A/D fotónicos se pueden clasificar en: asistidos fotónicamente, los cuales emplean la fotónica para mejorar algunas de sus propiedades limitantes, pero donde el muestreo y la cuantificación se realizan eléctricamente; de muestreo fotónico; de cuantificación fotónica y, de muestreo y cuantificación fotónica.

TENDENCIAS FUTURAS: TECNOLOGÍAS HÍBRIDAS ELECTRÓNICA-FOTÓNICA

La evolución de tecnologías electrónicas en conversores A/D ha logrado, durante los últimos años, niveles de ENOB superiores a los que se pueden lograr en el campo fotónico; esto se debe a que la tecnología fotónica en el terreno de cuantificación no ha logrado todavía el grado de madurez suficiente, en cuanto a la relación entre costes y prestaciones. Por ello, las investigaciones y desarrollos actuales tienden a emplear los esquemas fotónicos en el proceso de muestreo de la señal mediante el uso de fuentes pulsadas ópticas que permiten pulsos con característi-

cas temporales fuera del alcance de los generadores electrónicos (muy bajo jitter), así como para ayudar de diversas maneras a la digitalización realizada a posteriori por los conversores A/D electrónicos (como por ejemplo, mediante técnicas de reducción de ancho de banda por estirado temporal, de reducción de jitter muy por debajo de las actuales posibilidades en el campo de la electrónica, eliminación de ruido, etc.)

Recientemente se han iniciado líneas de investigación orientadas al muestreo de señales electrónicas mediante submuestreo óptico en frecuencias en torno a 40 Ghz, consiguiéndose un ENOB de 7.06 bits.

5.2.4.3. FPGA Y DSP

Al realizar una digitalización de banda ancha y elevado margen dinámico, la cantidad de datos a procesar se incrementa considerablemente (p. ej. los datos de un pulso radar detectado por un sistema de GE actual pueden ocupar del orden de 128 bits, si el pulso de dicho radar tiene una anchura de $10 \mu\text{s}$ y se muestrea con un convertor A/D de 1 GSps obtendremos 10 Kbyte de datos para procesar). El proceso de un flujo de datos tan elevado únicamente puede realizarse con un procesado HW específico que permita reducir la cantidad de información que se envía a los procesadores de señal o de propósito general. Este proceso se realiza en dispositivos HW programables (FPGA), ver fig. 5.2.4-4.



Figura 5.2.4-4. Placa de proceso con FPGA
(Fuente: INDRA).

La evolución tanto en complejidad (número de puertas) como en velocidad de proceso de estos dispositivos es continua y la industria de defensa aprovechará los desarrollos realizados para el sector civil. El papel principal de la industria española en estas tecnologías consistirá en la integración de FPGAs y DSPs en distintas tarjetas electrónicas de procesado, así como la programación del firmware necesario para cada aplicación de recepción digital.

En función de lo versátil que sea el diseño y de las facilidades de reprogramación se obtendrán, en mayor o menor medida, sistemas que puedan incluir diferentes funcionalidades o tener la capacidad de poder adaptarse a diferentes situaciones operativas.

5.2.4.4. ALGORITMIA

Existe una gran cantidad de algoritmos específicos de los diferentes sistemas de GE, que además se encuentran en continua evolución. Entre ellos, los que se considera que tendrán un mayor desarrollo son los siguientes:

- Identificación de emisores específicos (SEI). Este tipo de algoritmos están asociados, desde su aparición, a los receptores digitales y su objetivo principal es poder identificar el emisor al que pertenece una emisión detectada por el equipo de GE. Para ello se analizan las características de la señal detectada y se determinan aquellas que son específicas del emisor. Estos algoritmos podrán facilitar, entre otras, las funciones de desentrelazado, la asociación y fusión de trazas multiplataforma y el control del espectro electromagnético, determinando cuáles de las trazas o emisores son amigos, enemigos o desconocidos y, por tanto, facilitando la asignación de funciones a diferentes plataformas.
- Algoritmos de geolocalización. La geolocalización de emisores es objeto de múltiples estudios y pruebas en el ámbito de la OTAN (p.ej. la iniciativa «Cooperative ESM»), aunque en la actualidad está casi totalmente delimitado a la obtención de la localización vía triangulación de demoras. La introducción de receptores digitales con una sincronización común (señales de satélite) permitirá obtener de forma precisa la posición geográfica de los emisores, utilizando técnicas más precisas (TDOA, FDOA,..) e integrando la información obtenida en sistemas embarcados en diferentes plataformas.
- Algoritmos NEC. Dentro de este apartado se incluirían todas la funcionalidades (aparte de la geolocalización) que surgen de la integración de sistemas de diferentes plataformas para realizar una gestión global de todas las capacidades de de GE. Dentro de estas funcionalidades se incluirán, al menos, algoritmos para la realización de contramedidas cooperativas entre varias plataformas, algoritmos para la asignación de tareas de vigilancia del espectro entre varias plataformas, algoritmos de fusión de información multiplataforma, etc. Especial relevancia en estas funciones NEC tendrán la algoritmia asociada al análisis de señales de comunicaciones y la gestión del ECM en el combate contra RCIED.
- Algoritmos de análisis de señal adaptados al entorno operativo. Con la evolución previsible tanto de las señales de no comunicaciones (radar) como de las de comunicaciones, será necesario disponer de algoritmos específicos para la detección y análisis de

señales que, por sus características especiales, necesitarán un tratamiento específico (p.ej., señales con niveles por debajo del ruido). Actualmente ya se realizan procesos específicos para la detección de señales LPI.

5.2.4.5. CONTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DIGITALES A LAS TENDENCIAS FUTURAS DE GE

Los sistemas digitales serán una parte fundamental en la mejora de las prestaciones de los futuros sistemas de GE, tanto en su vertiente ESM como en su vertiente ECM (por ej., formando parte de las memorias digitales de radiofrecuencia), por lo que contribuirán a todas las tendencias descritas en el apartado 5.1, (quizás con la excepción de las armas de energía dirigida), aunque en mayor medida a:

- Guerra Electrónica en Red: los Sistemas Digitales contribuirán de forma relevante, ofreciendo una serie de algoritmos que permitan el funcionamiento cooperativo de varias unidades y proporcionando mayor precisión en la geolocalización.
- Sistemas Multifuncionales: para poder ser implementados, dichos sistemas necesitarán conversores A/D de elevada velocidad de muestreo y gran velocidad de procesado.
- Equipos de Guerra Electrónica completamente Digitales y Reconfigurables: los Sistemas Digitales son la base de esta tendencia.

5.2.5. Sensores Multiespectrales

Uno de los campos en los que se prevé que se produzca un mayor avance es en el desarrollo de sensores que tengan la capacidad de obtener una firma multiespectral

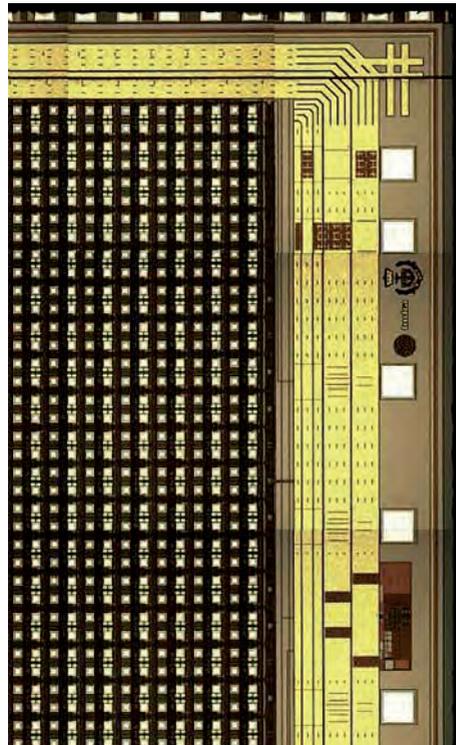


Figura 5.2.5-1. Detalle del Circuito Integrado de lectura (ROIC) del detector del SIRIO (Fuente: Ministerio de Defensa).

de las amenazas (IR, óptica, UV), de forma que permitan disponer de alertadores con mayor sensibilidad y se disminuya la tasa de falsas alarmas.

Su aplicación más inmediata será en sistemas de alerta de misiles (MWR, MAWR). Adicionalmente, los sistemas de autoprotección integrarán la información procedente de varios sensores para que, además de disminuir la tasa de falsas alarmas, se pueda establecer una primera clasificación y (en el mejor de los casos, una identificación), de forma que se optimice el combate contra la amenaza detectada.



SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

ANEXO I

LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS

A/D	Analógico/Digital
ADC	Analog to Digital Converter
AEM/S	Advanced Enclosed Mast/Sensor
AESA	Active Electronically Scanned Array
AOA	Angle Of Arrival
BAM	Buque de Acción Marítima
BGA	Ball Grid Array
BRIMAR	Brigada de Infantería de Marina
CCD	Charge Coupled Device
CCGG	Cuarteles Generales
CEAR	Centro de Evaluación y Análisis Radioelétricos
CIDA	Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada
C-IED	Counter-Improvised Explosive Device
COMINT	Communications Intelligence
COTS	Commercial Off-The-Shelf
CW-LFM	Continuous Wave-Linear Frequency Modulation
DASS	Defense Aid Sub-System
DEG	Destroyer Escort, Guided-missile
DEW	Directed Energy Weapon
DGTEL	Dirección General de Telecomunicaciones
DIFM	Digital Instantaneous Frequency Measurement
DIRCM	Directed Infrared Counter Measures
DRFM	Digital Radio Frequency Memory
DSP	Digital Signal Processor
DTIB	Defence Technology Industrial Base
EA	Ejército del Aire
EA	Electronic Attack
ECCM	Electronic Counter-Countermeasures
ECM	Electronic Countermeasures
EDA	European Defence agency
EFA	European Fighter Aircraft
ELINT	Electronic Intelligence
EM	Electromagnético
EMA	Estado Mayor de la Armada

EMACON	Estado Mayor Conjunto
EMAD	Estado Mayor de la Defensa
EMCON	Emission Control
EMP	Electromagnetic Pulse
ENOB	Effective Number Of Bits
EO	Electro-Óptico
EP	Electronic Protection
EPFCG	Explosively Pumped Flux Compression Generator
EPM	Electronic Protection Measures
ES	Electronic Support
ESA	Electronically Scanned Array
ESM	Electronic Support Measures
ESSOR	European Secure Software Radio
ET	Ejército de Tierra
ETSII	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
ETSIT	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones
EW	Electronic Warfare
FCR	Fire Control Radar
FDOA	Frequency Difference Of Arrival
FFT	Fast Fourier Transform
FI	Frecuencia Intermedia
FLIR	Forward Looking Infra-Red
FNM	Fabrica Nacional «La Marañosa»
FO	Fibra Óptica
FP	Force Protection
FPGA	Field Programmable Gate Array
GE	Guerra Electrónica
GIMO	Gabinete de Investigación Militar Operativa
GIS	Geographic Information System
GMR	Grupo de Microondas y Radar
GSps	Giga Samples Per Second
HALE	High Altitude Long Endurance
HEMT	High Electron Mobility Transistor
HF	High Frequency
HMI	Human Machine Interface
HPA	High Power Amplifier
HPEM	High Power ElectroMagnetic
HPM	High Power Microwave
HW	HardWare

IADS	Integrated Air Defense Systems
ICET	Innovative Concepts & Emerging Technologies
IED	Improvised Explosive Device
IM	Infantería de Marina
INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
IR	InfraRed
IRINT	InfraRed INTelligence
IRST	Infra-Red Search and Track
ISR	Intelligence, Surveillance and Reconnaissance
ITM	Instituto Tecnológico «La Marañosa»
JAL	Jefatura de Apoyo Logístico
JIP	Joint Investment Program
LNA	Low Noise Amplifier
Lol	Letter of Intent
LPI	Low Probability of Intercept
LQCA	Laboratorio Químico Central de Armamento
LTCC	Low Temperature Co-fired Ceramic
LWR	Laser Warning Receiver
MANPADS	MAN-Portable Air Defense System
MAWR	Missile Approach Warning Receiver
MEWSG	Mobile Electronic Warfare Support Group
MINISDEF	MINISterio de DEFensa
MMIC	Monolithic Microwave Integrated Circuit
MPEG	Multiple Platform Emitter Geo-location
MP-RTIP	Multi-Platform Radar Technology Insertion Program
MTI	Moving Target Indicator
MWR	Missile Warning Receiver
NBQ	Nuclear, Biológica y Química
NCW	Network-Centric Warfare
NEC	Network-Enabled Capability
NIAG	NATO Industrial Advisory Group
OBE	Orden de Batalla Electrónico
OGSE	Operational Ground Support Equipment
OPTINT	OPTical INTelligence
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
OVU	Operational Validation Unit
PESA	Passive Electronically Scanned Array
PGE	Plataforma Giro Estabilizada
PPI	Plan Position Indicator
QWIP	Quantum Well Infrared Photodetector

RAM	Radar Absorbing Material
RC-IED	Remote Controlled Improvised Explosive Device
RCS	Radar Cross Section
RDA	Receptor Digital Avanzado
RF	Radio Frecuencia
ROIC	ReadOut Integrated Circuit
RTO	Research & Technology Organization
RWR	Radar Warning Receiver
SAM	Sistema de Análisis Móvil
SAM	Surface-to-Air Missile
SAR	Synthetic Aperture Radar
SDG TECEN	SubDirección General de Tecnología y CENTros
SEAD	Supression of Enemy Air Defenses
SEI	Specific Emitter Identification
SIGINT	SIGnals INTelligence
SIGLO	Sistema de Integración GLObal
SOPT	Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica
SPEG	Single Platform Emitter Geo-location
SSA	Shared Situational Awareness
STARS	Surveillance Target Attack Radar System
STFT	Short-Time Fourier Transform
SW	SoftWare
TDOA	Time Difference Of Arrival
T/R	Transmisión/Recepción
TWT	Travelling Wave Tube
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UCLM	Universidad de Castilla La Mancha
UPM	Universidad Politécnica de Madrid
UPNA	Universidad Pública de NAvarra
USAF	United States Air Force
UV	UltraVioleta
UWB	Ultra Wide Band
VHDL	Very High level Design Language
VIRCATOR	VIRtual CAThode OscillatoR
VME	Versa Module Eurocard



SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

ANEXO II DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

- [1] D. Curtis Schleher, «Electronic Warfare in the Information Age». Artech House, 1999
- [2] M.R. Frater y M. Ryan, «Electronic Warfare for the Digitized Battlefield». Artech House, 2001
- [3] «Electronic Warfare Handbook 2008». Shephard Press Ltd.
- [4] «Electronic Warfare and Radar Systems Engineering Handbook». Naval Air Systems Command / Naval Air Warfare Center. Rev. 2, 1 de Abril de 1999.
- [5] «Executive Overview: Radar and Electronic Warfare». Jane's Radar and Electronic Warfare Systems, 3 de Julio de 2007.
- [6] «Executive Overview: Radar and Electronic Warfare». Jane's Radar and Electronic Warfare Systems, 10 de Septiembre de 2008.
- [7] «Electronic Warfare. The Changing Face of Combat». The Electronic Warfare & Information Operations Association (AOC). 2 de Septiembre de 2008.
- [8] William A. Schutz, Maj, USMC. «Airborne Electronic Attack: Keeping Pace with Transformation?» Air Command and Staff College, Air University, Maxwell Air Force Base (Alabama), Abril de 2006.
- [9] J. Reyes y J. M.Pascual, «La batalla por el Espectro Electromagnético». BIT nº 130, Noviembre-Diciembre 2001.
- [10] «Introducción a la Guerra Electrónica». Portal SIWEB (<http://siweb.com.es>), 17 de Marzo de 2006.
- [11] Rupert Pengelley, «Curbing the Roadside Bomber». International Defence Review, 1 de Enero de 2006.
- [12] James M. Abatti, Major, USAF. «Small Power: The Role of Micro and Small UAVs in the Future». Air Command and Staff College, Air University, Maxwell Air Force Base (Alabama), Abril de 2005.

- [13] Dr. Anthony Finn, Dr. Kim Brown, Dr. Tony Lindsay, «Miniature UAV's & Future Electronic Warfare», EW & Radar Division (DSTO), 6 de Octubre de 2005.
- [14] Richard Scott, «Integrating Topside Design». Jane's Navy International, 1 de Mayo de 2005.
- [15] H. Schippers, R.J.C. Creemers, E. Bron, A. Hulzinga, D.J. Bekers, E.H. van der Houwen, G. Gerini, «Integration of Antennas into Composite Load-Bearing Aircraft Structures». RTO-MP-AVT-141 meeting proceedings, Octubre de 2006.
- [16] T. Delouès, «Performance of Large Interferometer Array on Airborne Platforms: Estimation of Deformation and Compensation Techniques». RTO-MP-AVT-141 meeting proceedings, Octubre de 2006.
- [17] Robert Sekora, Clemens Brand, Wolfgang von Storp, «Conformal Array Antenna for Data Link Applications». RTO-MP-AVT-141 meeting proceedings, Octubre de 2006.
- [18] «Network Enabled Capability». UK Ministry of Defence Joint Services Publication (JSP 777). Ed. 1, Enero de 2005.
- [19] «Network Centric Warfare / Network Enabled Capability». Ed. 1. Monografía del Servicio de Observación y Prospectiva Tecnológica de la DGAM. Ministerio de Defensa, Junio de 2005.
- [20] Carlo Kopp, «The Electromagnetic Bomb – a Weapon of Electrical Mass Destruction». Air and Space Power Chronicles - Chronicles Online Journal. 1 de Enero de 1996.
- [21] Bill Sweetman, «High-Power microwave weapons-Full power ahead?». Jane's Defence Weekly, 30 de Agosto de 2006.
- [22] Nick Brown y Caitlin Harrington, «Beam on: directed energy weapons get charged up for use on the battlefield». International Defence Review, 11 de Agosto de 2008.
- [23] «Rheinmetall Landsysteme TM 170 armoured personnel carrier». Jane's Armour and Artillery, 24 de Octubre de 2008.
- [24] «Technology for Multifunctional RF Systems». Final Report of SET Task Group 24. RTO-TR-SET-043 Technical Report, Diciembre de 2004.
- [25] Timothy A. Axness, Robert V. Coffman, Bruce A. Kopp, y Kenneth W. O'Haver, «Shared Aperture Technology Development». Johns Hopkins APL Technical Digest, volume 17, number 3 (1996).

- [26] «AN/APG-77». Jane's Radar and Electronic Warfare Systems, 2 de Mayo de 2008.
- [27] «MultiPlatform Radar Technology Insertion Program (MP-RTIP)». Jane's Radar and Electronic Warfare Systems, 11 de Agosto de 2008.
- [28] Eli Brookner, «Now: Phased-array Radars: Past, Astounding Breakthroughs and Future Trends (January 2008)». Microwave Journal, Vol. 51, N° 1, Enero de 2008.
- [29] «Airborne Radar Systems». Jane's Avionics, 19 de Marzo de 2009.
- [30] «Technology Primer – Array of light: radar functionality shows many advantages of active electronics». International Defence Review, 10 de Marzo de 2009.
- [31] Jean Dupont, «Radar revolution: the arrival of gallium nitride components opens up new applications for radars, including jamming and telecommunications». Interavia Business & Technology, Verano de 2007.
- [32] Robert Hendrix, «Aerospace System Improvements Enabled By Modern Phased Array Radar». White Paper, Northrop Grumman Electronic Systems, Octubre de 2002.
- [33] «AESA Radar: Revolutionary Capabilities for Multiple Missions». Northrop Grumman Electronic Systems, Octubre de 2006.
- [34] «SAMPSON». Jane's Radar and Electronic Warfare Systems, 8 de Agosto de 2007.
- [35] «Airborne Multirole multifunction Solid-state Active-array Radar (AM-SAR)». Jane's Radar and Electronic Warfare Systems, 11 de Mayo de 2007.
- [36] «Defence Technology Strategy 2006». Science Innovation and Technology Publication, UK Ministry of Defence. 7 de Abril de 2006.
- [37] Documento Público del Plan a Largo Plazo de Armamento y Material 2008. Ministerio de Defensa, Diciembre de 2008.
- [38] Bill Sweetman, «The Future of Advanced Stealth - Worth the Cost?». Jane's Defence Weekly, 19 de Julio de 2006.
- [39] Kenneth I. Talbot, Paul R. Duley, Martin H. Hyatt, «Specific Emitter Identification and Verification». Technology Review Journal. Spring/Summer 2003.

- [40] Rupert Pengelley, «Loitering with intent: armed aerial vehicles provide fire on demand». International Defence Review, 1 de Mayo de 2007.
- [41] «Tecnologías GaN y SiC: Estado del Arte». Ed. 1. Monografía del Servicio de Observación y Prospectiva Tecnológica de la DGAM. Ministerio de Defensa, Septiembre de 2003.
- [42] «Photonic analog-to-digital converters», George C. Valley. The Aerospace Corporation, 2007.

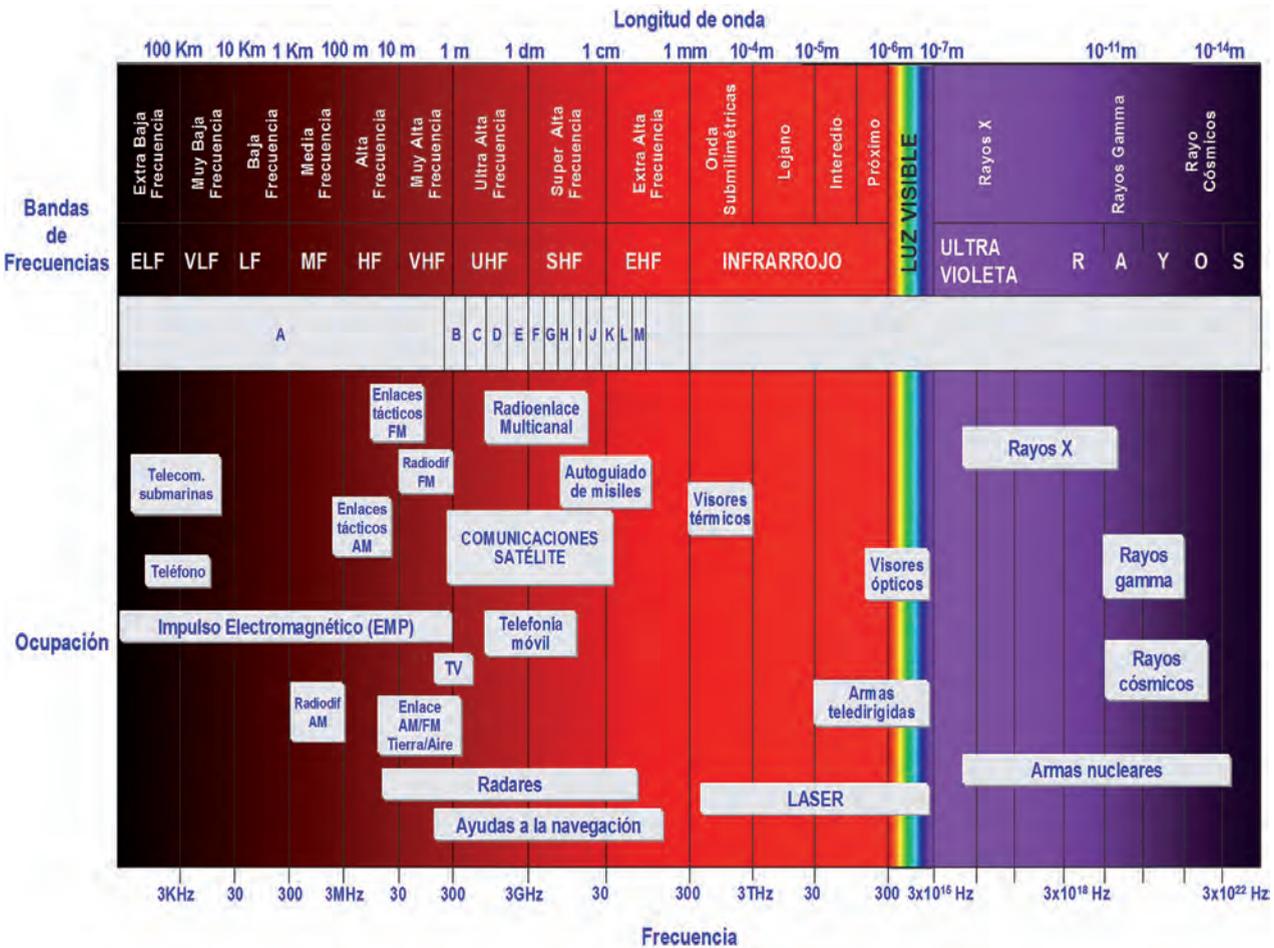


SOP T

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

**ANEXO III
ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO**

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO (10)



(10) Imagen tomada del portal de internet SIWEB del MINISDEF (<http://siweb.com.es>)



SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

ANEXO IV ENLACES DE INTERÉS

ENLACES DE INTERÉS (11)

Área	Título	Enlace
COMINT	The Defence Suppliers Directory	http://www.armedforces.co.uk
COMINT	COTS Journal	http://www.cotsjournalonline.com
Contra medidas	Radio Jamming Info	http://www.radiojamming.info
Contra medidas	Surfwax Telecom News	http://news.surfwax.com/telecom/files/Electronic_Jamming.html
ELINT	Microwaves & RF Product Data Directory	http://www.mwrfpdd.com/
ELINT	Instituto de Navegación de España	http://www.inave.org/
ELINT	Nadav Levanon - Home Page	http://www.eng.tau.ac.il/~nadav/
ELINT	Imaging Radar Home Page at the NASA Jet Propulsion Laboratory	http://southport.jpl.nasa.gov/
ELINT	Surface-to-air missiles	http://meltingpot.fortunecity.com/chad/95/sa.html
ELINT	The Radar Pages	http://www.radarpages.co.uk
ELINT	Royal Navy Gollies Website	http://www.piczo.com/navygolliies?g=5060495&cr=3
General	Airforce-technology	http://www.airforce-technology.com/
General	Army Technology	http://www.army-technology.com
General	Defense Technical Information Centre	http://www.dtic.mil
General	Diccionario de Términos Militares	http://www.dtic.mil/doctrine/jel/doddict/
General	DSP Village	http://dspvillage.ti.com/
General	Federation of American Scientists (FAS). Intelligence Programs and Systems	http://www.fas.org/irp/program/index.html

(11) Enlaces proporcionados por el portal de internet SIWEB del MINISDEF

Área	Título	Enlace
General	Green Bay Professional Packet Radio	http://www.qsl.net/n9zia/
General	IEEEExplore	http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/guesthome.jsp
General	Jane's	http://www.janes.com
General	Key Publishing Ltd Aviation Forums - Best ECM	http://forum.keypublishing.co.uk/showthread.php?t=18118
General	Martin Pechanec's Direct Digital Synthesis (DDS)	http://www.geocities.com/CapeCanaveral/5611/dds.html
General	Online Office of the Electronic Warfare Working Group	http://www.house.gov/pitts/ew.htm
General	RF GLOBALNET	http://www.rfglobalnet.com
General	SPACE & ELECTRONIC WARFARE LEXICON	http://www.sew-lexicon.com/
General	Space and Electronic Warfare Lexicon	http://www.sew-lexicon.com/index.html
General	ANGLE CONVERTER FOR DEGREES, RADIANS, GRADS, OR MILS	http://www.1728.com/angles.htm
General	Cartográfica de Canarias, S.A.	http://www.grafcan.com/
General	Instituto Cartográfico Valenciano	http://www.gva.es/icv/
General	Map Collection - World Sites Atlas	http://www.sitesatlas.com/Maps/index.htm
General	Mappy - Guía de carretera	http://www.mappy.com/direct/mappy/accueil?country=ESP
General	Mathtools.net - Portal de Cálculo Técnico	http://www.mathtools.net/
General	National Geographic MapMachine - online atlas, street maps	http://plasma.nationalgeographic.com/mapmachine/index.html?id=362&size=medium&left=-5.36&bottom=36.11&right=-5.33&top=36.16
General	The Engineers Club Online Service - Web, Hosting, Engineering	http://www.engineers.com/
General	The MathWorks - MATLAB Central - File Exchange	http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/load-category.do
General	WinOrbit	http://www.sat-net.com/winorbit/
General	AcqWeb	http://www.acq.osd.mil/

Área	Título	Enlace
General	Information Warfare, I-War, IW, C4I, Cyberwar	http://www.psychom.net/iwar.1.html
General	Intelligence Resource Program	http://www.fas.org/irp/index.html
General	Jane's Intelligence Review	http://jir.janes.com/public/jir/index.shtml
General	OSS.net, Inc	http://www.oss.net
General	STINET (Scientific and Technical Information Network) Web Site	http://stinet.dtic.mil/
General	USNI Military Database - An international, armed forces and military database, for unclassified defense and government informat	http://www.periscope.ucg.com/
General	Artech House	http://www.artechhouse.com/Default.asp?Search=1&Frame=SubjectList.asp
General	I+C - Catálogo	http://www.informaticaycom.com/catalogo.html
General	Página principal de MathSciNet	http://www.ams.org/mathscinet
General	Publicaciones del GMR	http://www.gmr.ssr.upm.es/www2/marco_publicaciones.htm
General	Publicaciones del GRC	http://www.grc.ssr.upm.es/publicaciones/public.htm
General	Storming Media Pentagon Reports and Documents	http://www.stormingmedia.us
General	Welcome to IEEE Xplore	http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/DynWel.jsp
General	Defensa.com	http://www.defensa.org
General	Defense Aerospace	http://www.defense-aerospace.com
General	Defense Industry Daily	http://www.defenseindustrydaily.com
General	Defense World	http://www.defenseworld.net
General	Fundación Circulo de Tecnologías para la Defensa y la Seguridad	http://www.fundacioncirculo.es/
General	AFCEA International	http://www.afcea.org/
General	AIAD.IT	http://www.aiad.it/default.asp?language=en
General	AOC - Electronic Warfare & Information Operations	http://www.crows.org/

Área	Título	Enlace
General	Asociación Española de Fabricantes de Armamento y Material de Defensa y Seguridad	http://www.afarmade.es/
General	Association of the United States Army	http://www.ausea.org/
General	Directed Energy Professional Society	http://www.deps.org/
General	Federation of American Scientists	http://www.fas.org/
General	Grupo de Industrias de Defensa Europeas	http://www.edig.org/
General	IEEE Standards Association	http://standards.ieee.org/
General	Israeli Weapons	http://www.israeli-weapons.com/index.html
General	NDIA	http://www.ndia.org/
General	Old Crows	http://www.crows.org
General	S.E.E.	http://www.see.asso.fr/htdocs/index.php?alt=french
General	The IEEE	http://www.ieee.org/
General	The Wavelet Digest	http://www.wavelet.org/
General	FGAN	http://www.fgan.de
General	Foreign Military Studies Office	http://leav-www.army.mil/fmso/
General	Georgia Tech Research Institute	http://www.gtri.gatech.edu/
General	Lexington Institute	http://www.lexingtoninstitute.org/
General	Military Operations Research Society	http://www.mors.org/
General	RTO	http://www.rta.nato.int
General	Defence Signals Directorate	http://www.dsd.gov.au
General	Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)	http://www.darpa.mil/
General	Defense Intelligence Agency	http://www.dia.mil/
General	U.S. Army Homepage	http://www.reenactor.net/vaq-33/index.htm
General	VAQ-33-Tactical Electronic Warfare Squadron 33	http://www.reenactor.net/vaq-33/index.htm

Área	Título	Enlace
General	Grupo de Microondas y Radar. SSR. ETSIT. UPM	http://www.gmr.ssr.upm.es
General	SSR	http://www.ssr.upm.es/
General	Antenna Systems and Technology	http://www.antennasonline.com
General	Armada International	http://www.armadainternational.com/welcome.cfm
General	Compound Semiconductor Online Resource Centre-Compound.net	http://www.compoundsemiconductor.net/
General	Defense Technology International (DTI)	http://www.defensetechnologyinternational.com/
General	Defense Update	http://www.defense-update.com
General	EDN	http://www.reed-electronics.com/ednmag/index.asp?
General	G2Mil The Magazine for future warfare	http://www.g2mil.com/
General	Jane's Defence Weekly	http://jdw.janes.com
General	Journal of Electronic Defense	http://www.jedonline.com
General	Microwave Journal	http://www.mwjjournal.com/
General	Microwaves & RF	http://www.mwrf.com/
General	Military Parade	http://www.milparade.com/
General	Military Technology	http://www.monch.com/military-technology.php
General	National Defense Magazine	http://www.nationaldefensemagazine.org
General	PlanetEE - The Global Resource for Electronics Engineers	http://dspvillage.ti.com/
General	Revista Española de Defensa	http://www.mde.es/Home
General	Science	http://www.sciencemag.org/
General	Signal	http://www.afcea.org/signal/
General	Tecnología Militar	http://www.monch.com/tecnologia-militar.php
General	The Journal of Net-Centric Warfare	http://www.isrjournal.com
General	World Scientific	http://www.worldscinet.com/subject.shtml
OPTINT	Army-Technology	http://www.army-technology.com/
OPTINT	DSTL	http://www.dstl.gov.uk/

Área	Título	Enlace
OPTINT	EOS	http://www.europeanopticalsociety.org/
OPTINT	INTA	http://www.inta.es
OPTINT	Laser Focus World	http://lfw.pennnet.com
OPTINT	Optics	http://www.optics.org/
OPTINT	OSA	http://www.osa.org
OPTINT	Photonics	http://www.photonics.com/
OPTINT	QINETIQ	http://www.qinetiq.com
OPTINT	SEDO	http://sedo.optica.csic.es/
OPTINT	SPIE	http://www.spie.org
OPTINT	Thermal Resource Center	http://www.tak2000.com
OPTINT	TNO	http://www.tno.nl
OPTINT	Sensors Magazine	http://mil.sensorsmag.com/sensorsmil/
Misiles	Enciclopedia y Base de Datos Harpoon3	http://harpoondb.brinkster.net
Misiles	Harpoon waypoint	http://www.harpoonhq.com/waypoint
Misiles	Sistema Español de identificación de misiles y plataformas	http://www.designation-systems.net/non-us/spain.html
Misiles	Air-to-Air Missiles	http://www.danshistory.com/arms.shtml
Misiles	El directorio de los Misiles y Cohetes militares americanos	http://www.designation-systems.net/dusrm/index.html
Misiles	El Portal del Armamento. Ministerio de Defensa Francés	http://www.ixarm.com/-Missiles,134-
Misiles	Enciclopedia de astronáutica	http://www.astronautix.com/lvs/misindex.htm
Misiles	Missilethreat.com	http://www.missilethreat.com
Misiles	Rest-of-World Missile Systems	http://www.fas.org/man/dod-101/sys/missile/row/index.html
Plataformas	Sistema de designación de las plataformas aeroespaciales militares americanas. (Misiles, UAV, cohetes, satélites...)	http://www.designation-systems.net/usmilav/missiles.html
Misiles	Smart Weapons. Air to Surface Missiles	http://www.danshistory.com/smartm.shtml

Área	Título	Enlace
Misiles	US MISSILES	http://www.fas.org/man/dod-101/sys/missile/index.html
UAV	UAV Forum	http://www.uavforum.com
UAV	UAV World	http://www.uavworld.com
UAV	Keeping watch with unmanned aircraft	http://news.com.com/2300-11397_3-6055507-1.html?tag=ne.gall.pg
UAV	Unmanned Aerial Vehicles	http://www.vectorsite.net/twuav.html