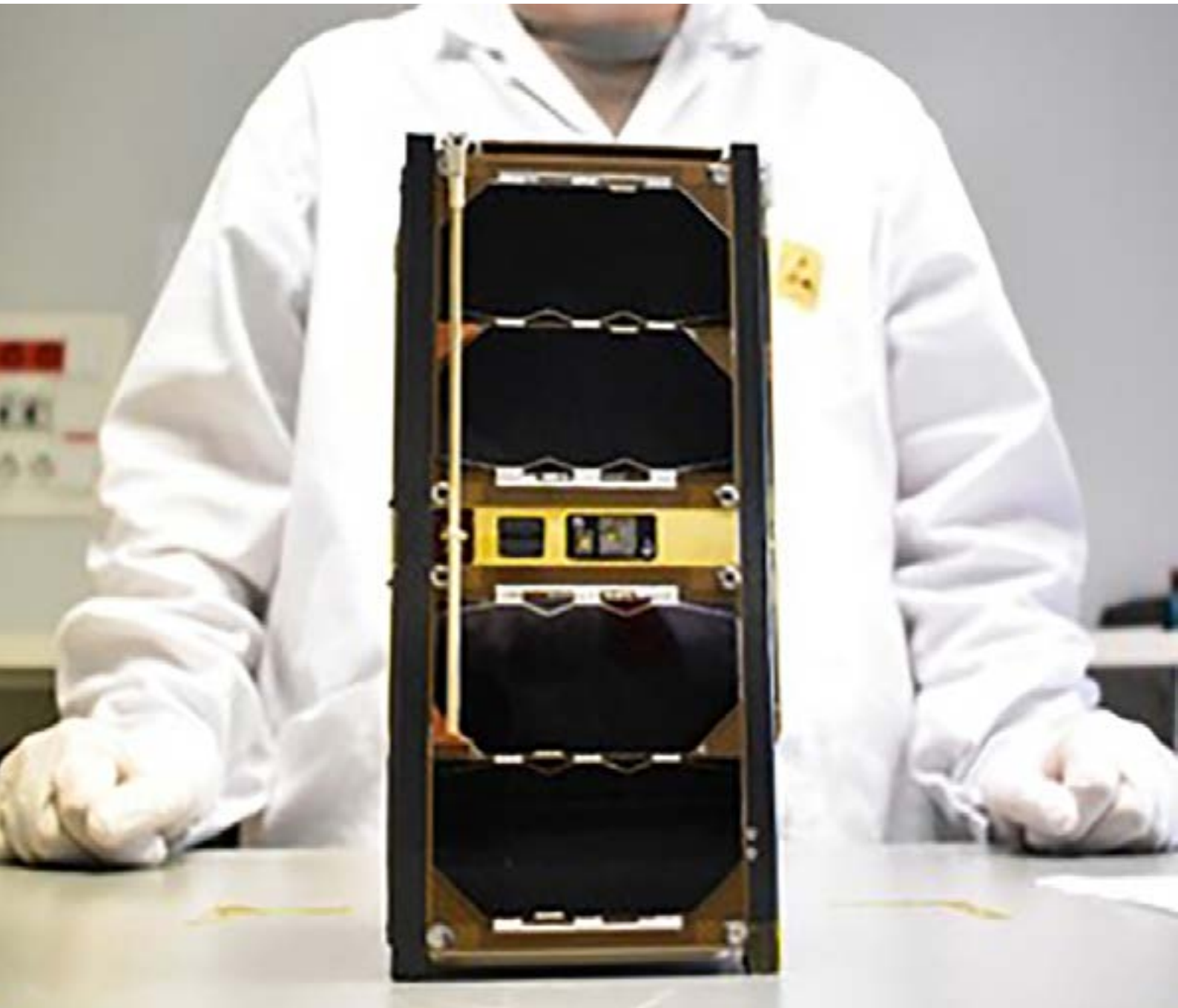


# Boletín

## DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN  
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa n.º 66 • 3.º trimestre de 2020



**Imagen térmica espacial, esencial para  
aplicaciones de defensa**  
**Convocatoria Programa Coincidente 2020**



Edita:



NIPO: 083-15-183-4 (edición en línea)  
NIPO: 083-15-182-9 (impresión bajo demanda)  
ISSN: 2444-4839 (edición en línea)

**Autor:** Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDGPLATIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), Paseo de la Castellana, 109, 28046 Madrid; teléfonos: 91 395 52 14 (Dirección), 91 395 52 80 (Redacción); [observatecno@oc.mde.es](mailto:observatecno@oc.mde.es).

**Director:** TCol. Juan Manuel González del Campo Martínez.

**Consejo Editorial:** Óscar Jiménez Mateo, José Agrelo Llaverol, Cte. Carlos Calderón. Bgda. José María Martínez Benítez.

**Asistencia Técnica de apoyo a la Redacción:** Nodo Gestor: David García Dolla, Rosalía Vindel Román; Observatorio de Armamento (OT ARM): Óscar Rubio Gutiérrez; Observatorio de Electrónica (OT ELEC): Yolanda Benzi Rabazas; Observatorio de Energía y Propulsión (OT ENEP): Héctor Criado de Pastors; Observatorio de Materiales (OT MAT): Luis Miguel Requejo Morcillo; Observatorio de Defensa Nuclear, Biológica, Química y Radiológica (OT NBQR): Nuria Aboitiz Cantalapiedra; Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología (OT OPTR): Pedro Carda Barrio; Observatorio de Plataformas Aéreas (OT PAER): Guillermo Carrera López; Observatorio de Plataformas Navales (OT PNAV): Cristina Mateos Fernández de Betoño, Jaime de la Parra Díaz; Observatorio de Plataformas Terrestres (OT PTER): Pablo Monasterio Albuérne; Observatorio de Satélites y Espacio (OT SATE): Ana Belén Lopezosa Ríos; Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación (OT TICS): Bernardo Martínez Reif, Isabel Iglesias Pallín.

**Portada:** Aistechsatsat-2 (Fuente: Aistech).

El Boletín de Observación Tecnológica en Defensa es una publicación trimestral en formato electrónico del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica orientado a divulgar y dar a conocer iniciativas, proyectos y tecnologías de interés en el ámbito de Defensa. El Boletín está abierto a cuantos deseen dar a conocer su trabajo técnico. Los artículos publicados representan el criterio personal de los autores, sin que el Boletín de Observación Tecnológica en Defensa comparta necesariamente las tesis y conceptos expuestos.

**Colaboraciones y suscripciones:**  
[observatecno@oc.mde.es](mailto:observatecno@oc.mde.es)

<http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Presentacion/Paginas/SOPT.aspx>

**Catálogo General de Publicaciones Oficiales:**  
<https://cpage.mpr.gob.es>

**Catálogo de Publicaciones de Defensa:**  
<https://publicaciones.defensa.gob.es>

 **SOPT**



DGAM  
Subdirección General de Planificación,  
Tecnología e Innovación

## CONTENIDOS

### Editorial

### Actualidad

- 4 ¿Dónde hemos estado?
- 6 Convocatoria Programa Coincidente 2020
- 7 Proyecto PESCO MAC-EU

### Tecnologías Emergentes

- 8 Imagen térmica espacial, esencial para aplicaciones de defensa
- 12 Producción de proteínas de SARS CoV-2 recombinantes en una plataforma biotecnológica de respuesta rápida

### En Profundidad

- 16 Modernización digital: desafíos de los sistemas de información y comunicaciones para lograr la superioridad de la información en el entorno táctico

## ESTRATEGIA ESPAÑOLA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y DE INNOVACIÓN 2021-2027

El pasado 8 de septiembre de 2020, el Consejo de Ministros aprobó la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología y de Innovación (EECTI 2021-2027), que se concibe como el marco de referencia plurianual cuyos objetivos son compartidos por la totalidad de las Administraciones Públicas con competencias en materia de fomento de la investigación científica, técnica y de innovación.

Se trata de una estrategia diseñada para maximizar la coordinación entre la planificación y programación Estatal y Autonómica y para facilitar la articulación de la política de I+D+i nacional con el Programa Marco de Investigación e Innovación de la UE, Horizonte Europa (2021-2027). Incluye actividades dirigidas a solventar los problemas causados por la COVID-19, por lo que muestra especial énfasis en el área de salud en los dos primeros años de aplicación (2021-2022) y subraya la importancia de consolidar y potenciar la ciencia y la innovación como una herramienta para la reconstrucción social, económica e industrial de nuestro país.

La I+D+i de Defensa está integrada en esta Estrategia como política sectorial, siendo la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID-2020), de próxima aprobación, la referencia para dirigir las actuaciones en este sector durante los próximos años. Es importante destacar que entre los sectores estratégicos contemplados en la EECTI 2021-2027 se incluyen, entre otros, el de “Seguridad para la Sociedad” y “Mundo digital, Industria,

Espacio y Defensa”, que a su vez identifican líneas de I+D+i estratégicas muy alineadas con las líneas de I+D+i y objetivos tecnológicos de la ETID 2020.

La puesta en práctica de la EECTI 2021-2027 va a realizarse a través del desarrollo de Planes Estatales de Investigación Científica, Técnica y de Innovación (PEICTI) que contemplarán los criterios y mecanismos de articulación del Plan con las políticas sectoriales del Gobierno, de las CCAA y de las distintas AAPP. En concreto, los trabajos para abordar el desarrollo del PEICTI 2021-2023 ya se han iniciado.

La motivación del Ministerio de Defensa para promover crecientes grados de cooperación nacional en I+D+i con el resto de organismos del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación es la de apoyar la capacitación tecnológica de las entidades del tejido tecnológico nacional en temáticas de aplicación a defensa, de forma que cuenten con el necesario empuje para desarrollarse y ser competitivos en el conjunto de iniciativas que desde hace años se están poniendo en marcha a nivel europeo en el sector de la defensa.

Por ello, es un objetivo de este Departamento, el que las actuaciones programáticas que se deriven del PEICTI 2021-2023 favorezcan este desarrollo de capacidades, de forma que en los próximos años podamos ser testigos de mayores niveles de crecimiento e internacionalización de la base tecnológica e industrial nacional de la defensa.

# Actualidad

## ¿Dónde hemos estado?

7 y 8 de julio de 2020

- **NATO Autonomy Workshop**

Los días 7 y 8 se celebró el NATO Autonomy Workshop dentro del marco de los seminarios que la OTAN está organizando sobre Emerging and disruptive Technologies (EDT). En él se expusieron los aspectos necesarios para una comprensión básica de la autonomía, presentaciones comerciales de casos de uso y argumentaciones sobre principios y normas para aplicaciones civiles de la autonomía, así como casos de uso militares de los sistemas autónomos e información sobre las perspectivas y enfoques nacionales en cuanto a autonomía aplicada al ámbito de defensa y seguridad.



25 de agosto de 2020

- **Innovations for a decentralised, renewable-powered system: Peer-to-peer electricity trading**

Webinar realizado por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y la Autoridad de Energías Renovables de Malasia sobre innovación en tecnologías, regulaciones y modelos de negocio para lograr un sistema eléctrico descentralizado, con un foco especial en el uso de tecnologías blockchain que apoyen el desarrollo de proyectos p2p



3 y 4 de septiembre de 2020

- **Webinar Military "Space Situational Awareness" (SSA) - SMi UK**

Webinar organizado por el grupo SMi de UK, en el que se reunieron las principales instituciones interesadas de los sectores militar, gubernamental e industrial para discutir cómo construir un enfoque colaborativo para la gestión espacial y la conciencia de la situación espacial (SSA), dado que el dominio espacial está cada vez más congestionado, tanto de satélites activos como de basura espacial.



... entre otros eventos

## ¿Dónde hemos estado?

17 de  
septiembre  
de 2020

- **Proyecto 4E - “Essential Elements of European Escorts”**

La Armada Española y Navantia organizaron una jornada de lanzamiento a la industria, así como a los centros de investigación nacionales del proyecto 4E, cuyo objetivo fundamental fue dar a conocer los sistemas y equipos esenciales en los que la BTID tendrá que trabajar en los próximos años de cara a dotar a los futuros buques de escolta europeos.



22 de  
septiembre  
de 2020

- **Jornada sobre Nanotoxicidad**

La plataforma de materiales avanzados y nanomateriales (MATERPLAT), Nanbiosis y la plataforma de nanomedicina (Nanomed Spain) organizaron un webinar sobre el estudio de la toxicidad producida por el efecto de nanopartículas y nanomateriales. Teniendo en cuenta que las nanopartículas pueden tener propiedades y efectos muy diferentes a los de los mismos materiales en tamaños convencionales, lo que plantea nuevos riesgos para la salud, se ha creado una nueva disciplina: la nanotoxicidad. En esta jornada se han dado a conocer las líneas de investigación y avances que se están consiguiendo en esta área, así como las herramientas existentes para conocer y reducir la toxicidad de nanopartículas y nanomateriales.



Toda la información sobre estos y otros eventos puede consultarse en el Portal de Tecnología e Innovación del Ministerio de Defensa: [www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es](http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es)

**... entre otros eventos**

# Convocatoria Programa Coincidente 2020

**Autor: Cristina Mateos Fernández de Betoño, Nodo Gestor, SDG PLATIN**

**Palabras clave: COINCIDENTE, reducción firma, protección activa, combatiente**

**Metas Tecnológicas relacionadas: MT 3.1.3, MT 4.1.1, MT 4.1.3, MT 6.3.2**

### Introducción

El pasado 26 de mayo de 2020, se publicó en el BOE una nueva convocatoria del Programa de Cooperación en Investigación Científica y Desarrollo en Tecnologías Estratégicas (COINCIDENTE) impulsado por la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), perteneciente al Ministerio de Defensa.

El objetivo de este programa, como en las convocatorias anteriores, es aprovechar las tecnologías desarrolladas en el ámbito civil que puedan ser de aplicación en proyectos de interés para el Ministerio de Defensa. Además, es un programa que facilita la participación de entidades de muy distinta naturaleza (pequeñas, medianas y grandes empresas, centros de investigación y universidades), pertenecientes a toda la geografía nacional.

La Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) junto al Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) organizaron el 9 de junio, un Webinar informativo donde se expusieron los

objetivos de la convocatoria y se informó del proceso administrativo de la misma y procedimiento de contratación de las propuestas seleccionadas. El objetivo de esta jornada fue facilitar la presentación de los proyectos a las entidades interesadas en esta convocatoria.

Siguiendo la estructura de las dos anteriores convocatorias, se han establecido áreas temáticas de I+D+i específicas. Se trata de tres temáticas que complementan las que se han ido promoviendo a lo largo de los últimos años, las cuales abordaban aspectos relacionadas con el guiado de munición; plataformas no tripuladas terrestres, navales y aéreas; ciberdefensa; NBQ; lucha contra IED; sistemas de explotación inteligente de información; simulación para adiestramiento o materiales para protección, entre otras.

La primera temática de esta convocatoria 2020 es “Tecnologías de detección para sistemas de protección activa”, cuyo objetivo es desarrollar demostradores de sistemas de detección y rastreo de proyectiles, que puedan llegar a formar parte de un sistema de protección activa con capacidad de defensa antiaérea C-RAM (Counter Rocket, Artillery and Mortar). La segunda de ellas es “Reducción de firma” cuya finalidad es aprovechar los últimos avances tecnológicos y de materiales dirigidos a reducir la firma en plataformas y combatiente para que, incorporados en estos, se consiga reducir los distintos tipos de firma mencionados anteriormente frente a sensores óp-

ticos, infrarrojos, acústicos o radar. Y la última, “Sistemas de reducción de carga y apoyo a la movilidad del combatiente”, temática con la que se pretende aprovechar los últimos avances tecnológicos para obtener sistemas que asistan al combatiente en la realización de actividades que demandan un alto grado de esfuerzo físico o que se llevan a cabo en condiciones ambientales extremas, facilitando tareas como el transporte de equipamiento, el manejo de cargas pesadas o la propia marcha del individuo.

En esta convocatoria, se han recibido un total de 30 propuestas, de las cuales cabe destacar en todas ellas su alta calidad e interés tecnológico, prevaleciendo los proyectos alineados con la temática de reducción de firma.

Las propuestas seleccionadas se darán a conocer previsiblemente a finales de este año mediante su publicación en el BOE. Adicionalmente, se tendrán en cuenta algunas de las propuestas no seleccionadas, que podrán ser consideradas, en el caso de que exista financiación adicional o alguna de las inicialmente seleccionadas no llegue a contratarse.

Finalmente, las propuestas presentadas de gran interés y que no se financien vía programa COINCIDENTE se trasladarán al CDTI, organismo que cuenta con un conjunto de instrumentos de financiación de I+D+i muy interesantes, en particular sus Programas Duales, pudiendo ofrecer una vía alternativa de financiación para abordar algunas de las propuestas.



# Proyecto PESCO MAC-EU

Autor: José Agrelo Llaverol. SDG PLATIN

Palabras clave: PESCO, MAC-EU, EDTIB, materiales y componentes, EUGS, EDAP, EDF, CARD.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 2.1.1., MT 3.1.1., MT 3.1.2., MT 3.1.4., MT 4.1.1., MT 4.1.3.

## Introducción

En noviembre de 2019, el Consejo de la UE aprobaba la lista de 13 nuevos proyectos de la denominada “tercera oleada” de la Cooperación Estructurada Permanente (PESCO: *Permanent Structured Cooperation*), pasando ésta a sumar los 47 actuales, aportando la primera y segunda oleadas, aprobadas en 2018, 17 proyectos cada una. Uno de esos 13 proyectos, en el que España participaba como miembro pleno, se titula *Materials and Components for Technological EU Competitiveness* (MAC-EU) y había sido concebido para “desarrollar la Base Tecnológica e Industrial Europea de Defensa (EDTIB) en dos áreas concretas, Materiales y Componentes Electrónicos, en líneas concretas que reforzasen aspectos de seguridad de suministro y la libertad de uso, mirando complementariamente a aspectos de competitividad e innovación de la citada EDTIB”. Es decir, a apoyar al binomio [capacidad industrial - economía de la UE] – [cierta capacidad autonomía de Defensa].

## PESCO

PESCO surgió en la estela de la Estrategia Global de la Política Exterior

y de Seguridad de la UE de 2016 (EUGS), junto con el Plan Europeo de Acción en Defensa (EDAP), que incluye al Fondo Europeo de Defensa (EDF), y con la Revisión Coordinada Anual de Defensa (CARD, *Coordinated Annual Review on Defence*), y a la luz del principio consagrado en el Tratado de la UE por el cual grupos de Estados miembros capaces y dispuestos se comprometen legalmente a cooperar para el desarrollo de capacidades de defensa en el contexto de dar valor, de forma estructurada, a las políticas y operaciones de la UE al servicio de la conocida autonomía estratégica.

Su carácter es, por tanto, intergubernamental y su máximo órgano de dirección es el Consejo, concretamente los ministros de defensa de los 25 Estados PESCO. En el nivel inferior de los proyectos, donde reina la geometría variable, la gestión está a cargo de sus miembros, aun con supervisión desde el Consejo del cumplimiento de los compromisos particulares. La labor de secretaría la comparten la Agencia Europea de Defensa (EDA) y el Servicio Europeo de Acción Exterior (EEAS).

## MAC-EU

En MAC-EU, los Estados miembros son actualmente Francia (líder), Portugal, Rumanía y España, y observadores Alemania, Italia, Suecia, Países Bajos y la República Checa. Arrancó sus trabajos preparatorios el 4 de mayo de 2020. En su primera fase en 2020 se definen conjuntamente las prioridades tecnológicas, hojas de ruta y requisitos comunes. Posteriormente, ya entre 2020 y

2021, se definirán proyectos concretos de investigación y desarrollo en las dos áreas citadas. Ya avanzado 2021 se lanzarán las correspondientes convocatorias. Así, podría decirse que MAC-EU será más bien un programa de proyectos cuando se despliegue plenamente a partir de 2021, ligado al estreno de EDF, que será su principal vía de financiación sin descartar, pero en menor medida, proyectos tradicionales concebidos en la EDA. En el caso de flujo de fondos desde EDF, este dependerá del tipo de proyecto (I ó D) según se determine en el Reglamento de EDF, siendo hasta cierto punto legítimo extrapolar las modalidades de la Acción Preparatoria de Investigación en Defensa (PADR, *Preparatory Action Defence Research*) y del Programa Europeo de Desarrollo Industrial de Defensa (EDIDP, *European Defence Action Plan*) para hacer una composición de lugar.

## Próximos pasos

Próximamente, como se ha dicho, se definirán intergubernamentalmente requisitos funcionales y hojas de ruta con la urgencia de preparar la fase de redacción de los programas de trabajo de las acciones para EDF 2021 en ambas áreas. El resultado de todo ello será sin duda una novedosa y prometedora oportunidad para la base tecnológica e industrial española de participar a partir de 2021 en actividades de I+D de defensa en cooperación europea, con la marca de la UE, en los temas concretos que finalmente se definan, para lo cual la senda de éxito que inició con la PADR y el EDIDP invita al optimismo.



# Tecnologías Emergentes

## Imagen térmica espacial, esencial para aplicaciones de defensa

Autores: Dr. Luis José Salazar-Serrano, Aistech Space; Dr. David Paredes Barato, Aistech Space; Josep Pino Guimerá, Aistech Space

Palabras clave: satélite, imagen térmica, defensa, Aistech Space

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 3.5.6.; MT 2.3.1.

### Introducción

Aistech Space es una compañía global de inteligencia geoespacial fundada en 2015 que tiene como misión la generación de información de valor a sus diversos clientes a través de la fusión y análisis de datos. Los modelos matemáticos desarrollados por su equipo de aplicaciones se alimentan con imágenes satelitales de diferentes fuentes, así como de información obtenida a través de sensores ubicados en tierra con el objetivo de ofrecer una visión global de la situación a los actores implicados.

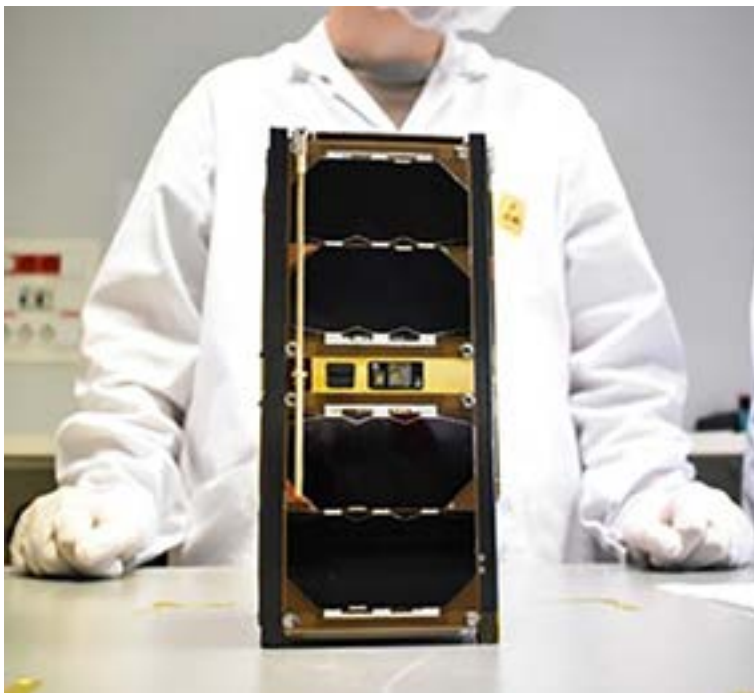


Fig. 1. Aistechsatsat-2 integrado y listo para su lanzamiento el pasado diciembre de 2018. Aistechsatsat-3 dentro de la cámara de termovacío previo a su lanzamiento en abril de 2019. (Fuente: Aistech Space)

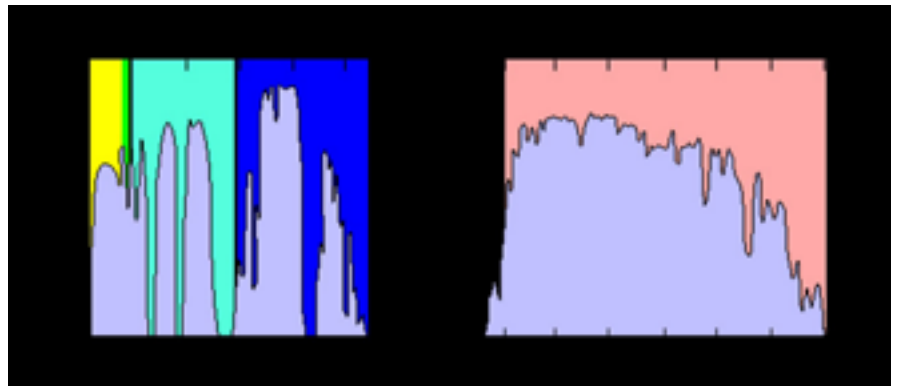


Fig. 2: Transmitancia de la atmósfera. (Fuente: Wikipedia)

Actualmente la compañía tiene 2 satélites en órbita y otros 6 en diferentes estadios de diseño e integración.

Los planes a futuro de la compañía son continuar lanzando satélites hasta alcanzar una constelación de 120 en un plazo de 3 a 4 años que permita obtener imágenes multispectrales en los rangos visible (VIS) (0.4  $\mu\text{m}$  - 0.7  $\mu\text{m}$ ), infrarrojo cercano (NIR) (0.8  $\mu\text{m}$  - 0.9  $\mu\text{m}$ ) y térmico (TIR / LWIR) (8.0  $\mu\text{m}$  - 12.0  $\mu\text{m}$ ), de cualquier punto de la Tierra en prácticamente tiempo real. Cabe resaltar que Aistech Space ya tiene cerrada la coordinación de frecuencias con la ITU.

### ¿En qué consiste la imagen térmica?

El espectro electromagnético comprende todas las ondas electromagnéticas con frecuencias que se extienden desde los pocos Hertz hasta alrededor de  $10^{25}$  Hertz, o de manera equivalente, correspondientes a longitudes de onda desde miles de kilómetros hasta una fracción de un núcleo atómico. Dicho espectro se divide en regiones conocidas como bandas, donde cada una tiene características particulares definidas a partir de la forma en que se generan, el modo en que interactúan con la materia, y por lo tanto la manera en que se detectan, y sus aplicaciones prácticas.

En lo que respecta a la observación de la Tierra se tienen las siguientes bandas de interés, definidas principalmente por las ventanas de transmisión de la atmósfera terrestre, donde se minimizan los efectos de absorción atmosférica: visible (VIS), infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta, infrarrojo de onda media e infrarrojo de onda larga o térmico.

Se denomina radiación térmica a la radiación electromagnética emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Esta radiación se genera por el movimiento térmico de las partículas cargadas que hay en la materia. Como resultado, todos los cuerpos (salvo uno cuya temperatura se encuentre prácticamente en el cero absoluto) emiten radiación debido a este efecto, siendo su intensidad dependiente de la temperatura y de la longitud de onda considerada.



## ¿Qué puede aportar a Defensa la imagen térmica?

La radiación térmica, al contrario que otros procesos como la conducción y la convección en los que el calor se transfiere a través de la materia, es un proceso de transferencia de energía que también se propaga a través del vacío. Esto nos permite obtener información sobre la temperatura de los objetos de manera remota, por ejemplo, utilizando satélites.

Además, la radiación en esta región del espectro electromagnético está dominada, para un amplio rango de condiciones operativas, por la propia emisión térmica de los cuerpos bajo observación. Esto permite, en contraste con la imagen visible, la detección de estos cuerpos de noche, independientemente de la iluminación solar.

Existen dos productos estándar que se derivan de las observaciones de la radiación térmica: la temperatura de la superficie del mar y temperatura de la superficie terrestre. Estos productos nos permiten, por ejemplo, pensar en aplicaciones de seguridad en fronteras, así como en la detección y prevención de contrabando; la observación de un contraste de temperatura en una zona aproximadamente homogénea como puede ser la superficie del mar puede ser indicativo de presencias no declaradas en la zona. Además, esta información puede ser usada para estimar el estado de actividad de un objetivo, dado que muchas actividades industriales generan calor, y puede ser observado y cuantificado de manera remota. A estas aplicaciones debemos añadir las excelentes capacidades del térmico en la detección y monitorización de incendios, así como la posterior evaluación de daños, tareas importantes en la gestión de, y respuesta a, emergencias.

Sin embargo, la información derivada de las imágenes térmicas no se limita a estas variables; el térmico nos permite distinguir entre materiales diferentes que podrían ser confundidos en las bandas del visible o del infrarrojo cercano. Esto nos permite, por ejemplo, distinguir entre diferentes tipos de rocas que conforman un terreno, así como una mejora en la distinción entre materiales que se observan en una escena.

Asimismo, la emisión térmica puede estar afectada por las condiciones de humedad del territorio. Esta información puede ser usada a nivel operativo para dar respuesta a emergencias como inundaciones, y su relevancia a nivel estratégico puede ser crucial para la determinación de la trafabilidad de un área determinada.

## Telescopio Multiespectral Aistech Space

El telescopio multiespectral, MST por sus siglas en inglés, es una carga útil óptica destinada a la observación de la Tierra que permite la adquisición de imágenes en tres canales espectrales de manera simultánea allí donde la transmitancia atmosférica es mayor al 60% (ver Figura 2). En la primera

versión del MST el sistema permite adquirir imágenes en los rangos visible, infrarrojo cercano y térmico.

El telescopio ha sido diseñado para ser integrado en un nanosatélite de seis unidades (6U), donde cada unidad corresponde a un volumen de 10 cm x 10 cm x 10 cm. Como se presenta en la figura 2, el sistema completo ocupa un espacio correspondiente a tres unidades (3U) y requiere un único punto de anclaje y de alimentación, lo que lo convierte en una carga de pago bastante flexible ya que puede utilizarse en una gran variedad de misiones.

En lo que respecta a las características técnicas del telescopio multiespectral en su primera versión, en la siguiente tabla se presentan las más relevantes:

Canales espectrales	3 (VIS, NIR, LWIR)
Tamaño	9.5 cm x 9.5 cm x 27.0 cm
Masa	2500 g
Consumo potencia	11 W
Rango de temperatura (operacional)	[-35°C,+30°C]
Campo de visión (FOV)	1°
Swath @ 550 km	8 km
GRD (VIS/NIR)	10 metros
GRD (LWIR)	70 metros

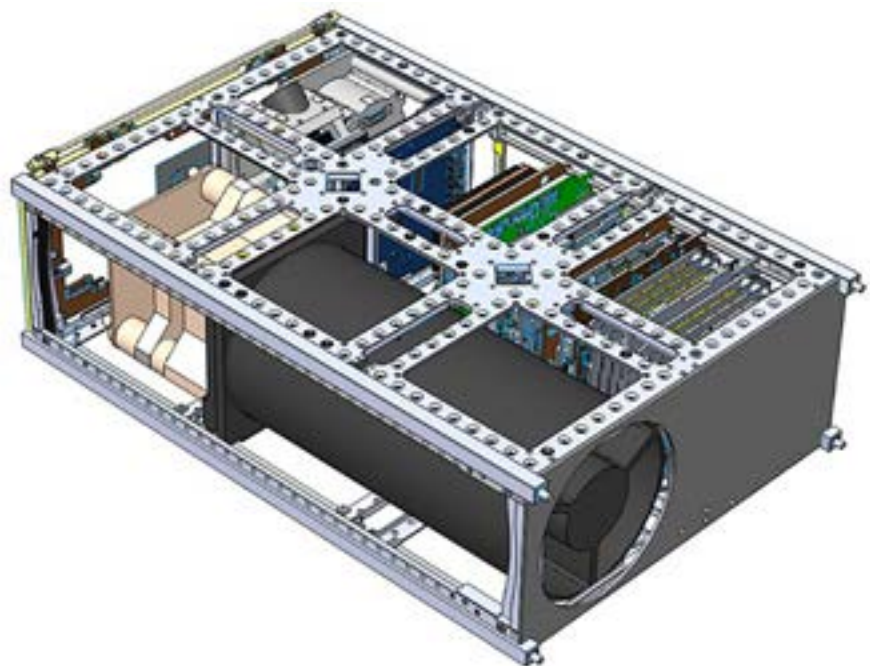


Fig. 3: Telescopio Multiespectral integrado en una estructura de seis unidades. (Fuente: Aistech Space)

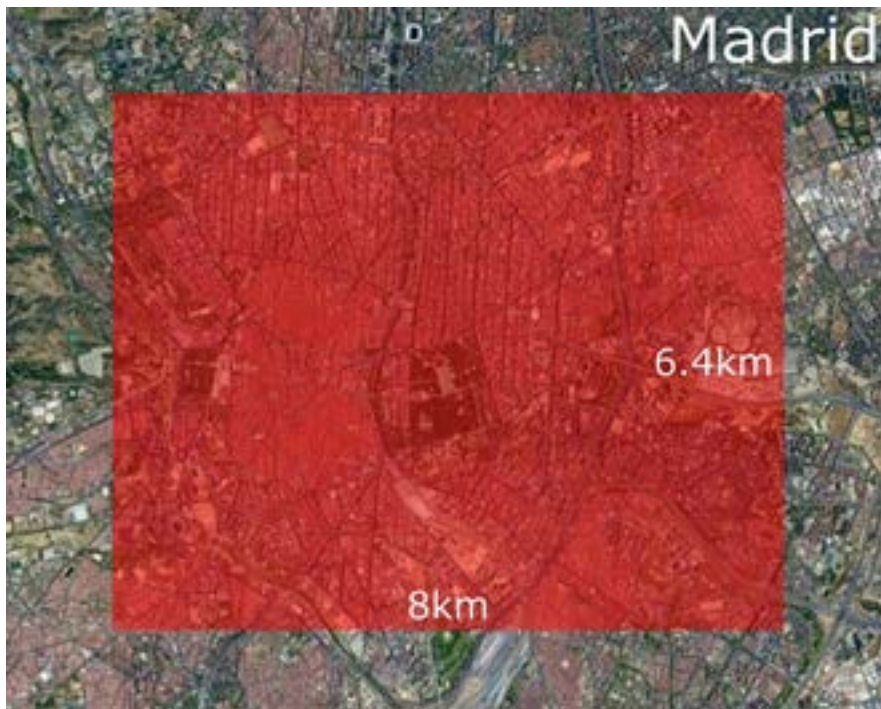


Figura 4. Vista de Madrid. (Fuente: Google maps)

forma se mueve en su órbita hasta alcanzar una banda de 8 kilómetros de ancho por 100 kilómetros de largo. En el segundo modo, se busca explotar las técnicas disponibles de post-procesado de imágenes conocidas como súper-resolución e hiper-resolución. En este caso, se busca captar imágenes de la misma región de interés con variaciones de perspectiva de tal forma que al procesar una gran cantidad de imágenes similares es posible generar una única imagen con mejor resolución espacial. Finalmente, el tercer modo aplica al caso donde la plataforma pasa muy cerca (pero no por encima) de la región de interés. En este modo, se gira un poco la plataforma respecto a la dirección de la órbita con el objetivo de barrer la zona de interés.

### Ejemplo de uso: detección de incendios

Además de la resolución espacial, hay otro parámetro de importancia a la hora de diferenciar elementos en una escena: el NETD (*Noise Equivalent Temperature Difference*). Este parámetro, también conocido como diferencia de temperatura equivalen-

Asumiendo que el satélite se encuentra a una altitud de 550 kilómetros, cada captura del telescopio abarca un área de 8 km x 6.4 km. Como referencia, en la figura 3 se muestra el área correspondiente a una captura en Madrid. La resolución, definida a partir del criterio de *Ground Resolution Distance* [1], depende de la longitud de onda de la luz y por lo tanto de la banda utilizada para generar la imagen. Con la configuración actual, se espera tener para el caso del visible o del infrarrojo cercano una resolución de 10 metros mientras que para el térmico solamente una resolución de 70 metros.

Teniendo en cuenta que el satélite no pasará siempre exactamente por encima de la zona de interés, la plataforma está diseñada para permitir

que el sistema óptico opere en tres modos de operación denominados: *Nadir Pointing*, *Enhanced Resolution* y *Angle Pointing*.

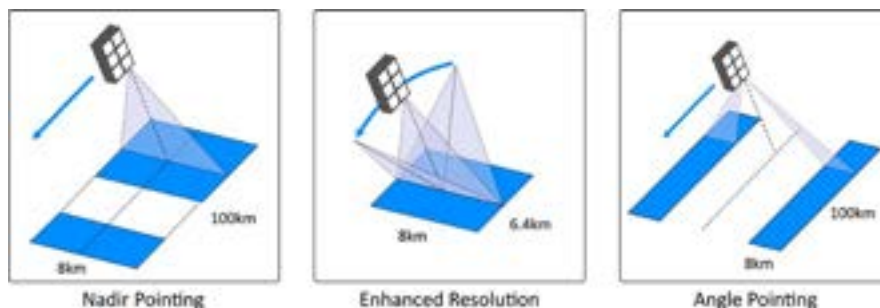


Fig. 5: Modos de operación MST. (Fuente: Aistech Space)

En el primer modo de operación, el sistema captura de manera secuencial imágenes a medida que la plata-

te de ruido, es una medida de qué tan bien un detector de imágenes térmicas puede distinguir entre diferencias muy pequeñas en la radiación térmica que llega al plano de la imagen. Esta cantidad, en combinación con la resolución espacial, permite determinar el tipo de objetivos que pueden identificarse con el instrumento óptico; en general, cuanto más pequeño es el objetivo, más grande debe ser su diferencia de temperatura con respecto al medio ambiente para ser detectada.

Veamos lo anterior con un ejemplo: Consideremos una región de 10 x 10 metros cuadrados que se encuentra a una temperatura 600°C

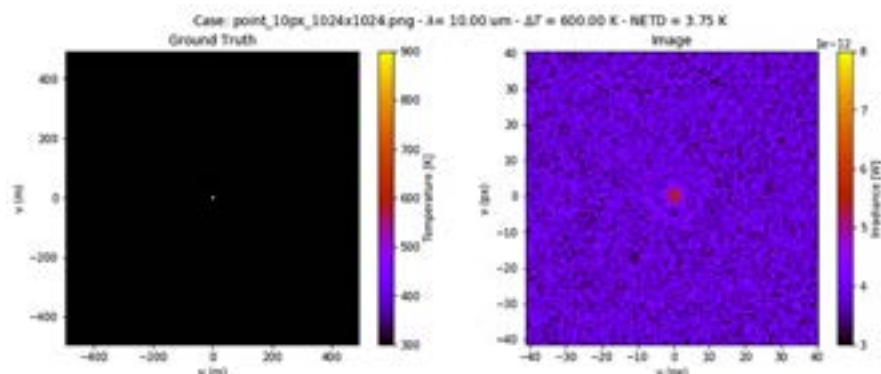


Fig. 6: Ejemplo de imagen adquirida canal térmico MST. (Fuente: Aistech Space)



Fig. 7. Detección de incendios zona Chandebrito (Pontevedra). (Fuente: Google maps)

para detectar potenciales fuentes de incendios.

Volviendo a la misma zona de Chandebrito, en la figura 9 se superpone la señal sintética del MST para una diferencia de tan solo 60°C.

## Conclusiones

En este artículo hemos hecho un repaso de las particularidades de la teledetección en la banda térmica. Las más importantes son la capacidad de captar imágenes aun en condiciones de nula iluminación, lo cual posibilita la imagen nocturna; así como la estimación de la temperatura de los cuerpos y el entorno, lo cual permite obtener información sobre su estado de actividad.

Estas propiedades podrían resultar de interés a nivel estratégico, táctico y operativo, posibilitando la generación de inteligencia y su aplicación en diferentes ámbitos de seguridad y defensa, yendo desde la detección de incendios, a la estimación de trafabilidad, pasando por la localización de potenciales actividades ilegales.

Las imágenes tomadas por el telescopio espacial de Aistech Space, que está desplegando una constelación de satélites para observación de la Tierra en banda térmica, podrían ser adecuadas para este tipo de aplicaciones gracias a sus características de alta resolución espacial y elevada frecuencia temporal. Y junto con otras fuentes de datos, permitirían una valiosa generación de inteligencia geoespacial

## Referencias

- [1] Basic spatial resolution metrics for satellite imagers, Álvaro Q. Valenzuela and Juan Carlos G. Reyes, SENSORS-25063-2019
- [2] [https://www.lavozdegalicia.es/noticia/vigo/vigo/2019/08/17/google-muestra-estragos-ola-incendios-2017-montes/0003\\_201908V17C1991.htm#](https://www.lavozdegalicia.es/noticia/vigo/vigo/2019/08/17/google-muestra-estragos-ola-incendios-2017-montes/0003_201908V17C1991.htm#)

Aistech Space, Calle Esteve Terradas 1,110. 08860 Castelldefels, Barcelona, España.

por encima de la temperatura ambiente (*ground truth* en la figura 6). Asumiendo los parámetros ópticos del MST y que el satélite se encuentra a 550 km, en la parte derecha de la figura 6 se observa la imagen sintética donde claramente se observa que puede identificarse la región caliente a pesar de que la resolución espacial es 70 m.

Podemos poner estos datos en un contexto geográfico: en la figura 7

que registraría el sensor térmico del MST.

Alteraremos el ejemplo anterior para obtener una estimación sobre el efecto de diferentes parámetros: aumentaremos el área de la región caliente de 100 x 100 metros cuadrados, pero reduciremos la diferencia de temperatura en un factor 10 - es decir, solamente 60°C. De este modo, en la figura 8 se observa que el incendio se detecta más fácil-

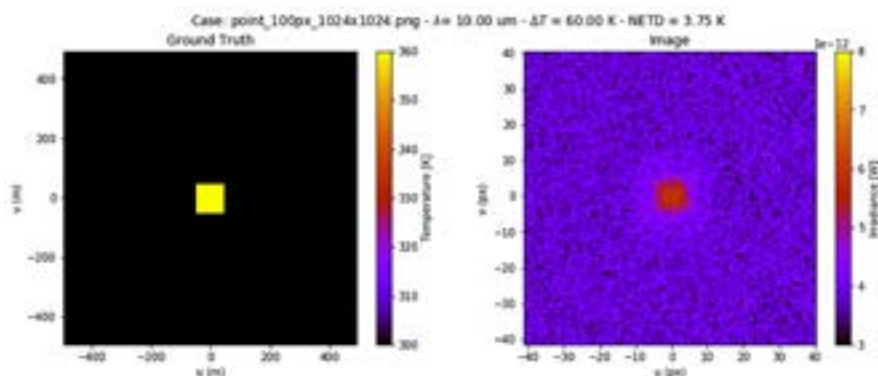


Fig. 8: Ejemplo de imagen adquirida canal térmico MST. (Fuente: Aistech Space)

se representa la zona de Chandebrito que fue fuertemente golpeada por los incendios forestales en 2017 [2]. En la figura central se indica el tamaño del incendio, y en la de la derecha se observa la señal

mente ya que el área es mayor. Por lo tanto, teniendo en cuenta que la diferencia de temperatura respecto al medio ambiente en un incendio es bastante superior a los 300°C, este tipo de escenarios es bastante útil



Fig. 9. Detección de incendios zona Chandebrito (Pontevedra). (Fuente: Google maps)

## Producción de proteínas de SARS CoV-2 recombinantes en una plataforma biotecnológica de respuesta rápida

Autores: Pablo Lunello, Isabel Bronchalo, Silvia Jurado, Alberto Romualdo, Sara González, Ana Saccone y Laura Williams, AGRENVEC

Palabras claves: SARS CoV-2, AGRENVEC, proteínas recombinantes, plantas biofactorías, Anticuerpos policlonales, RBD, Nucleocápsida.

Metas Tecnológicas Relacionadas: MT 5.2.1

### Introducción

En las últimas décadas las amenazas biológicas se han ido incrementando, generando una forma singular de combate, en la cual se emplean armas de diferente tipo, relacionadas con virus o bacterias capaces de infligir daño masivo sobre fuerzas militares y/o civiles. El uso de armas biológicas está terminantemente prohibido por las Naciones Unidas; sin embargo, son conocidos los avances de muchos países en la manipulación de microorganismos con fines múltiples.

Una amenaza con un virus modificado o no, natural o sintético, no se anuncia, simplemente se ejecuta, provocando aún más daño, ya que la confusión es mayor, no solo porque no se identifica inicialmente el agente causal, sino porque además se desconoce el origen, dificultando el desarrollo rápido de contramedidas prácticas: identificación, seguimiento, y tratamiento adecuados.

Esta característica, en una potencial amenaza biológica, ya sea debida a causas naturales o a ataques de guerra biológica, es el motivo de nuestros desarrollos. Todas estas amenazas hacen necesarias plataformas tecnológicas que permitan una reacción rápida, eficiente, escalable y construida sobre cimientos propios, es decir no dependientes de terceros países, evitando de esta manera el desabastecimiento estructural y tecnológico.

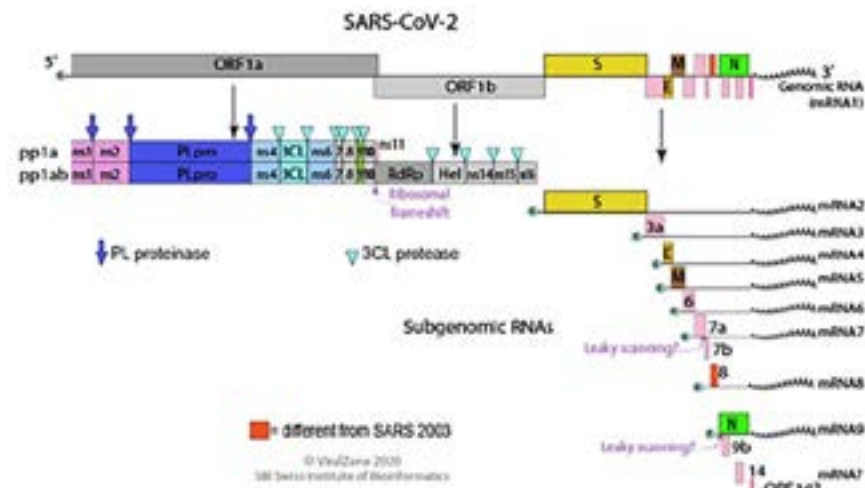


Fig. 1. Genoma viral y expresión de genes. Esquema del RNA genómico que funciona como mRNA1 y codifica una poliproteína (se muestran los sitios de corte proteolítico con flechas y triángulos). También se esquematizan los mRNA subgenómicos. Por ejemplo, la proteína S, que forma la estructura de las proyecciones en forma de espiga (spike) de la partícula viral se traduce del mRNA2. (<https://viralzone.expasy.org/8996>)

En este sentido nuestro objetivo es incrementar la capacidad tecnológica y de fabricación, mejorando la velocidad de respuesta para disponer muy rápidamente, ante la posible aparición de una amenaza biológica, de contramedidas sanitarias eficaces.

El primer paso, consiste en la producción industrial a coste competitivo de reactivos de diagnóstico para realizar test de forma masiva, generalizada y recurrente a todos los profesionales de servicios esenciales y a la población en general

Agrenvec, es una empresa española con un amplio recorrido en la producción de moléculas con aplicación en medicina regenerativa, en el campo de los antiinflamatorios (factores de crecimiento, citoquinas, interleucinas)

y desde la aparición de la pandemia, trabaja de lleno con recursos propios en más de 20 construcciones orientadas a la monitorización del SARS-CoV-2, mediante el diseño de métodos serológicos (ELISA, microchips etc.) y moleculares (RT-qPCR).

Aunque el origen de SARS-Cov-2 todavía es una incógnita, no podemos dejar de mencionar que es tecnológicamente factible generar este tipo de virus por métodos biotecnológicos, y la situación de pandemia que estamos viviendo, nos permite recrear en condiciones reales escenarios potenciales bajo un ataque biológico

### El virus

La actual pandemia está relacionada a un coronavirus, denominado por el

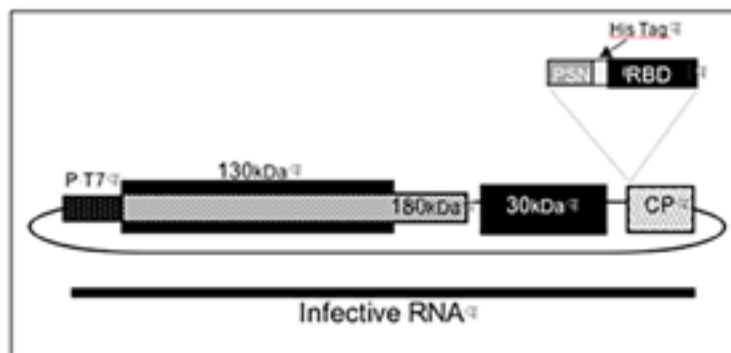


Fig. 2. Esquema de un vector derivado de un virus de planta, sobre el que se ha clonado el dominio RBD del SARS CoV-2), con el cual se han infectado plantas de *Nicotiana benthamiana* para producir gramos de proteína de coronavirus en plantas. Fuente: AGRENVEC



Fig. 3. a, b, c, d y e, secuencia de etapas en el proceso de producción de proteínas de SARS CoV-2 en plantas de *Nicotiana benthamiana*. Fuente: AGRENVEC

ICTV (International Committee on Taxonomy of Viruses), con el acrónimo SARS-CoV-2 “Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2”. El ICTV le asignó el nombre de SARS que es el miembro tipo de este grupo, pero no hace referencia exclusiva a los síntomas que produce, ya que estos son mucho más complejos. La enfermedad que causa se denomina COVID-19.

Es urgente determinar el origen de este virus, su reservorio natural, para entender cómo se transmite a humanos y desplegar las medidas adecuadas de control que nos permitirán actuar frente a brotes pandémicos (naturales o no), en el futuro.

Los virus de la familia Coronaviridae (orden *Nidovirales*) se agrupan en dos subfamilias, *Torovirinae* y *Coronavirinae*. Los miembros de la subfamilia *Coronavirinae*, se clasifican en tres géneros: Alpha-, Beta-, y *Gammacoronavirus* de acuerdo a sus propiedades antigénicas y relación filogenética. Casi todos los alfa- y *betacoronavirus* (género que comprende al virus SARS-CoV) tienen como hospedantes a mamíferos, mientras que los gamma coronavirus infectan generalmente aves. A partir de la emergencia del SARS en humanos, en 2002 se iniciaron trabajos de vigilancia a nivel molecular, que llevaron a describir numerosos coronavirus desconocidos previamente, principalmente en murciélagos [1]; [2]; [3].

Se conoce que las partículas de coronavirus son isodiamétricas, con rango de tamaño de 50 a 200 nm y un diámetro promedio de 118-136 nm. Las espículas características de esta familia emergen de la envoltura en la superficie del virión, formando la “corona” que le da nombre. Rodeado por la envoltura viral, se encuentra el genoma al que se encuentran unidas múltiples copias de la proteína de la nucleocápside, o proteína N, que

adopta una estructura helicoidal y presenta forma de ovillo.

El virus posee un genoma de RNA, de cadena simple, de polaridad positiva, de 26-32 kb de longitud. A partir de esta molécula se traducen al menos 27 proteínas, incluidas 16 proteínas no estructurales y 4 proteínas estructurales, necesarias para cumplir el ciclo de replicación completo Fig. 1 [1].

De acuerdo a lo expuesto y a la situación de urgencia el Departamento de I+D de Agrenvec se propuso como objetivo desarrollar métodos de diagnóstico masivo, que aportaran mayor sensibilidad, rapidez y fiabilidad en la identificación del agente causal de la enfermedad Covid-19. Estos se orientaron al diagnóstico de inmunoglobulinas y también a la detección de antígeno.

### ¿Como lo hicimos? Sistema de producción Agrenvec

La plataforma tecnológica utilizada se basa en la utilización de un “vector” derivado de un virus de planta, completamente inocuo, como “maquinaria de síntesis” y de plantas de *Nicotiana benthamiana* como biofactoría. Dicho de otra manera, se modifica el virus de planta (TMV) para que sea capaz de producir gran cantidad de proteínas de SARS CoV-2 dentro de plantas, cultivadas en confinamiento. En esta característica radica la capacidad de producir en menos de dos meses grandes cantidades de la proteína de interés a un coste muy competitivo.

La tecnología utilizada por Agrenvec es muy similar a la que se utilizó para la producción del anticuerpo contra el virus del Ébola, ZMapp entre empresas como Mapp Biotechnological y la empresa Kentucky Bioprocessing (KBP). Estas empresas recibieron una fuerte financiación de fondos del

DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), la NIH (National Institutes of Health) y DTRA (Defense Threat Reduction Agency).

En las diferentes construcciones moleculares realizadas, se clonó la secuencia codificante de un fragmento del motivo RBD (receptor binding domain) de la proteína S1 y un fragmento de la secuencia codificante de la proteína de la nucleocápsida (N) de SARS CoV-2, bajo el promotor de síntesis de la proteína de la cápsida de TMV, nuestro vector viral (Fig. 2). Paradójicamente se ha usado el primer virus descrito (TMV) para producir fragmentos del último virus descrito (SARS CoV-2).

Además, se han realizado 15 construcciones de otras proteínas virales que nos permitirán abordar el diagnóstico desde diferentes enfoques. Con las construcciones realizadas como se puede observar en la Fig. 3, se inocularon plantas de *Nicotiana benthamiana*, inicialmente a pequeña escala (a), luego a gran escala en invernaderos (b). Estas plantas fueron cosechadas (c) para iniciar el proceso de purificación mediante cromatografía (d) y posterior liofilización (e). Este producto está listo para usar en pruebas de diagnóstico, Williams et al.,2014, 2016. [4 5]

La misma tecnología utilizada para producir reactivos de diagnóstico por Agrenvec, también se está utilizando para producir candidatos a vacunas (subunidades SARSCoV-2 y partículas similares a virus) [6].

### Resultados

#### 1-Producción y purificación del dominio de unión RBD del SARS CoV-2 en plantas.

En la Fig. 4 podemos observar el nivel de pureza obtenido (>98%) por Coo-

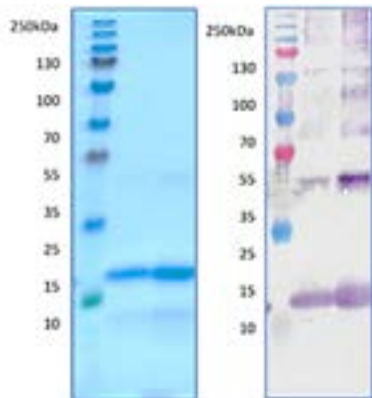


Fig. 4. Izq. Electroforesis en gel de acrilamida teñido con coomassie blue en condiciones desnaturalizantes y Der. Western blot con revelado con anticuerpo específico anti proteína S. Fuente: AGRENVEC

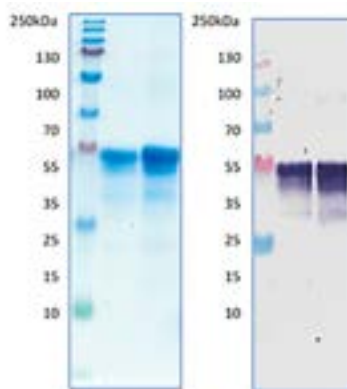


Fig. 6. Izq. Electroforesis en gel de acrilamida teñido con coomassie blue en condiciones desnaturalizantes y Der. western blot con revelado con anticuerpo específico anti proteína N. Fuente: AGRENVEC

propagadores, mientras que la detección de anticuerpos en suero de pacientes permite identificar a los convalecientes/inmunes.

### 3-Producción de Anticuerpos.

Con las proteínas recombinantes obtenidas se inocularon conejos, hembras, de raza neozelandesa de 2 meses de edad. Se inocularon 5 veces cada 15 días y se obtuvieron anticuerpos específicos capaces de detectar SARS CoV-2 a través del reconocimiento de la proteína N y del dominio RBD con alta sensibilidad.

#### a-Anticuerpo anti RBD

Con el anticuerpo policlonal obtenido se realizaron pruebas de ELISA indirecto de 1 h de duración y logrando detectar cantidades menores a 1 ng de proteína homóloga (recombinante Agrenvec) y de 3,9 ng de proteína comercial, en un volumen de 200 ul, Fig.8.

#### b-Anticuerpo anti Proteína N

Con el anticuerpo policlonal obtenido se realizaron pruebas de ELISA indirecto de 1 h de duración y logrando detectar cantidades menores a 1 ng de proteína N recombinante de Agrenvec, en un volumen de 200 ul, Fig.9.

### Conclusiones

Con las proteínas obtenidas se ha ajustado un protocolo de ELISA para detección de Inmunoglobulinas en 1-2 horas.

Con los anticuerpos obtenidos se ha ajustado un protocolo de ELISA de 1 hora para detección de antígeno con gran sensibilidad.

Se han generado reactivos suficientes para hacer más de 5.000.000 de test rápidos (inmunoensayos) para detectar rápidamente la exposición y / o infección por COVID-19 en individuos sintomáticos y asintomáticos

El desarrollo de estos procedimientos nos permitirá, en próximas pandemias, responder en 2 meses desde el primer caso reportado.

massie blue (Izq.) y el reconocimiento serológico en Western Blot (Der.). La proteína expresada se identificó también por Maldi-Tof.

En la Fig. 5 puede observarse una planta de *N. benthamiana* productora del motivo RBD de SARS CoV-2.

### 2-Producción y purificación de la proteína de la nucleocápside (N) del SARS CoV2 en plantas.

En la Fig. 6 podemos observar el nivel de pureza de la proteína obtenida (>98%), en geles de acrilamida teñidos con coomassie blue (Izq.) y el reconocimiento serológico en membranas de Western Blot (Der.). La proteína expresada se identificó también por Maldi-Tof.

En la Fig. 7 puede observarse una planta de *Nicotiana benthamiana* pro-

ductora de la proteína N de SARS CoV-2.

Con ambas proteínas, RBD y proteína N se ajustaron protocolos de detección de Inmunoglobulinas mediante la técnica de ELISA (Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay) de 1-2 horas de duración. También realizamos pruebas de reconocimiento del receptor ACE2 con la proteína recombinante RBD producida en este trabajo.

La proteína S es la más importante en términos de generación de anticuerpos porque se proyecta desde la superficie del virión y expone el dominio de unión al receptor (RBD) al sistema inmune

La detección de partículas virales en muestras biológicas de pacientes permite identificar a los infectados/



Fig. 5. Plantas *N. benthamiana* infectadas con el Clon recombinante TMV-RBD a los 11 días post inoculación (dpi). Síntomas claros de infección, arrugamiento de las hojas y reticulado foliar suave, característicos de la infección causada por TMV. Fuente: AGRENVEC



Fig. 7. Plantas de *N. benthamiana* infectadas con el Clon recombinante TMV-PN a los 11 dpi. Síntomas claros de infección, arrugamiento de las hojas y reticulado foliar suave, característicos de la infección causada por TMV. Fuente: AGRENVEC



Fig. 8. En el gráfico pueden observarse los valores de Absorbancia a 405 nm obtenidos en función de diluciones seriadas a la mitad de antígeno viral. Fuente: AGRENVEC

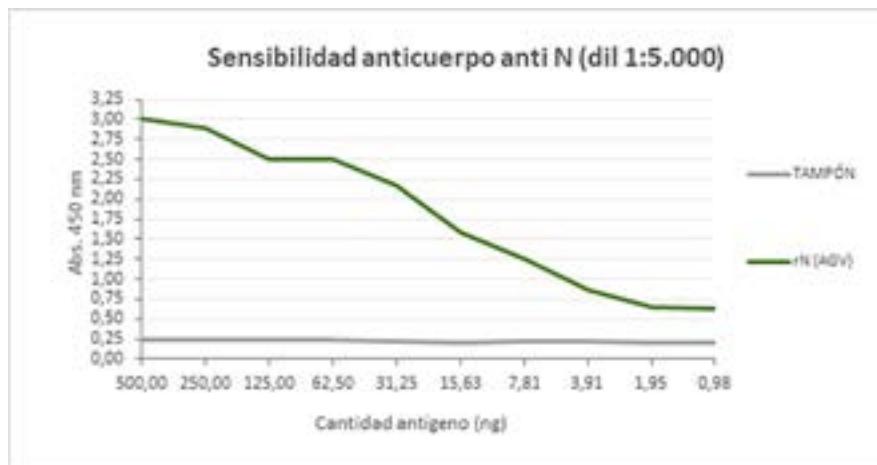


Fig. 9. En el gráfico pueden observarse los valores de Absorbancia a 405 nm obtenidos en función de diluciones seriadas a la mitad de antígeno viral. Fuente: AGRENVEC

## Bibliografía

- [1] Coronaviridae. Masters PS, Perlman S. In: Knipe DM, Howley PM, eds. Fields virology. 6th ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2013: 825-58.
- [2] COVID-19: Epidemiology, Evolution, and Cross-Disciplinary Perspectives. Sun J, TingHe W, Wang L., Lai A, Ji X, Zhai X, Li G, Suchard M A, Tian J, Zhou J., Veit, M. Su S. *Trends in Molecular Medicine*. March 21, 2020.
- [3] Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. Cui J, Li F, Shi ZL. *Nat Rev Microbiol*. 2019; 17(3):181-92.
- [4] Potential Application of Plant-derived Bioengineered Human VEGF for Tissue Regeneration. Williams L, Lunello P, Ajuria A, Bronchalo I, Romualdo A, Jurado S, Cañas N, de Francisco A, Cobos R, Orive G. *Curr Pharm Biotechnol*. 2016; 17(5): 458-64.
- [5] High-level production of active human TFPI-2 Kunitz domain in plant. Williams L, Deana A, Romero A, Molina A, Lunello P. *Protein Expression and Purification* 2014; 96: 14-19.
- [6] Potential Applications of Plant Biotechnology against SARS-CoV-2. Capelli T, Twyman RM, Armario-Najera V, Ma JKC, Schillberg S, Christou P. *Trends in Plant Science*, 2020, Vol. 25, No. 7.

# En Profundidad

## Modernización digital: desafíos de los sistemas de información y comunicaciones para lograr la superioridad de la información en el entorno táctico

**Autores:** Isabel Iglesias Pallín, Bernardo Martínez Reif, OT TICS. SDG PLATIN

**Palabras clave:** digitalización, sistemas heredados, comunicaciones tácticas y sistemas de información, mando y control, superioridad de la información.

**Metas Tecnológicas relacionadas:**  
MT 6.1.1., MT 6.1.2., MT 6.1.3.,  
MT 6.2.4., MT 6.4.2., MT 6.5.1.

### Resumen

La transformación digital de las Fuerzas Armadas requiere la creación de un proceso estructurado y escalable para garantizar la preparación de la misión. Las implementaciones de sistemas modernos coexisten con los sistemas heredados. Una plétora de plataformas, nodos y fuentes de información integran un campo de batalla hiperconectado. Este artículo analiza los desafíos en la búsqueda de soluciones armonizadas en el campo de las comunicaciones y los sistemas de información y especialmente en el entorno táctico, que es uno de los ámbitos más exigentes a la hora de garantizar la disponibilidad e interoperabilidad. Las tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial, Internet de las Cosas y otras relacionadas con la automatización están en el centro de esta transformación.

### Introducción

La transformación digital es un hecho en nuestra sociedad. Los servicios digitales están impregnando cada área de nuestras vidas. Casi sin darnos cuenta, sectores como la comunicación, las finanzas, la fabricación, el comercio o el entretenimiento se



Fig. 1. Digitalización (Fuente: Pixabay)

están volviendo más digitales y más conectados. Hace unos años, sintonizábamos la radio en lugar de instalar una aplicación para escuchar nuestras canciones favoritas almacenadas en nuestra propia lista de preferencias. No es necesario alquilar la última película en el video club más cercano un año después de su estreno en el cine y devolver la cinta de video 24 horas después. Ahora disponemos de numerosas plataformas de medios en nuestra propia sala de estar y podemos ver el último estreno pulsando un botón del mando a distancia de nuestra televisión. Existen multitud de ejemplos de cómo se hacían las cosas antes y cómo se hacen ahora, por ejemplo: mensajería instantánea, transporte compartido o redes sociales.

La sociedad demanda servicios que requieren ubicuidad, simplicidad, eficiencia, confiabilidad, seguridad y velocidad. Estas características exigen tecnologías digitales que brinden accesibilidad rápida, conectividad generalizada, automatización y resistencia.

La transformación digital ha cambiado las “reglas del enfrentamiento” de nuestro día a día en áreas como las relaciones sociales, el consumo, el trabajo, etc.... Defensa no puede quedarse atrás en este proceso imparable: nuestros combatientes en operaciones, ya sean marítimas, terres-

tres o aéreas, esperan utilizar ventajas digitales similares a las del mundo civil. Las especiales características del contexto del trabajo que realizan las Fuerzas Armadas plantean desafíos y cuestiones adicionales para construir un ecosistema digital adaptado a las misiones: la información debe preservar su confidencialidad, integridad y disponibilidad bajo cualquier circunstancia, se requiere de equipos especiales para resistir las condiciones adversas de las inclemencias del tiempo, o se requiere conectividad permanente en lugares donde no existe una infraestructura de telecomunicaciones permanente. Esto lleva a los militares a ser más precisos y rigurosos al definir requisitos específicos y verificar su cumplimiento antes de lanzar productos o soluciones. Se debe definir un conjunto de necesidades en términos de requisitos mediante el análisis de distintos escenarios. La ingeniería de sistemas asegurará un enfoque metodológico para identificar y validar estos requisitos de usuario.

En el campo de batalla, un combatiente debe tener una consciencia clara de la situación que incluya una evaluación de las amenazas, la ubicación de las fuerzas enemigas, los detalles de la orografía del terreno, la infraestructura disponible, los puntos de suministro, etc.

La información sobre la misión es clave para el cumplimiento de sus ta-



reas. Los flujos de información siguen una ruta múltiple de transmisiones y recepciones de órdenes entre unidades tácticas y escalones de mando superiores respaldados por una red de comunicaciones de gran alcance.

La información proporcionada al combatiente tiene que ser útil para tomar decisiones en pocos segundos. La mayoría de las veces no hay posibilidad de analizar la información disponible. Esto podría conducir a una situación de sobrecarga de información. Se deben llevar a cabo actividades de investigación que desarrollen nuevas interfaces entre el humano y el sistema y que presente esta información a los usuarios finales como un conocimiento útil que les permita elegir una opción entre varias alternativas, pero sin saturarle.

Por otra parte, garantizar la libertad de acceso al ciberespacio es primordial. Una de las tareas principales de este ámbito es proteger los sistemas y las redes, incluidos los datos de misión crítica, contra los ataques cibernéticos.

El campo de batalla se está viendo transformado gracias a un sinfín de tecnologías disruptivas que han llegado para quedarse. Tecnologías como *Big Data* para facilitar un análisis rápido de grandes cantidades de datos, Internet de las cosas y sensores utilizados como fuentes de información e Inteligencia Artificial para ayudar a la toma de decisiones, son habilitadores a nivel táctico y hay multitud de aplicaciones que pueden darse a estas tecnologías en el futuro y que aún tienen que ser probadas.

### Consecuencias del rápido ritmo del desarrollo tecnológico

Las consecuencias inmediatas de esta vertiginosa exigencia tecnológica se pueden resumir en una interconectividad de la red sin precedentes, la necesidad de información en tiempo real para alimentar los ciclos de decisión y la abundancia de datos sin procesar. Las demandas de procesamiento de datos han cambiado en términos del volumen de datos a procesar y la velocidad de este procesamiento de datos.

Nuestra sociedad digital es predominantemente una sociedad de *Big Data* caracterizada por las conocidas 5 Vs



Fig. 2. Transformación digital (Fuente: Pixabay)

que definen un tipo muy concreto de problemas a resolver: Volumen, Velocidad, Variabilidad, Veracidad y Valor. Es decir, además de las ya mencionadas, otras características como la heterogeneidad de los tipos de datos a procesar (video, imágenes, audio, señales de dispositivos, entre otros), la veracidad de la información a tratar y la necesidad de que todo este esfuerzo produzca resultados con valor, marcan las expectativas del usuario con respecto a estas tecnologías. Todo ello lleva a requerir la información exacta y precisa en el momento adecuado utilizando una aplicación adecuada que ayude a tomar la mejor decisión posible en función de la información contextual disponible.

En el campo de batalla, el ejército necesita además lograr una clara consciencia situacional. Una imagen operativa común ayuda a interpretar en un Sistema de Información Geográfica diferentes capas de información (instalaciones, clima, puentes, fuerzas, etc.) y amenazas (posiciones enemigas, terreno, cobertura de señales, clima, entre otros).

Para poder soportar los servicios antes mencionados, las configuraciones de los sistemas y redes deben ser flexibles, adaptándose incluso a las peores condiciones que puedan presentarse y, si fuera necesario, autoconfigurarse de acuerdo con las necesidades de la misión. Tecnologías como la red definida por software (SDN) y la virtualización de funciones de red relacionadas (NFV) permiten

obtener mayor rendimiento de los recursos de la red. Algunas de las principales dificultades en la implementación de SDN en redes tácticas residen en la alta movilidad de los nodos finales, un ancho de banda limitado junto con enlaces inalámbricos de baja velocidad de datos, la adopción de medidas de seguridad cibernética y la importancia de garantizar la interoperabilidad.

### CIS táctico a la vanguardia de la transformación digital

Los Sistemas de Información y Comunicaciones Tácticas (CIS) abordan las telecomunicaciones y los servicios militares que permiten a pequeñas unidades, equipos o combatientes individuales cumplir una misión. Podrían verse como la “última frontera” en una estructura jerárquica de telecomunicaciones que a menudo se conoce como *tactical edge*.

El entorno táctico es un laboratorio de experimentación donde no se permiten fallos. La flexibilidad y la adaptabilidad son dos características a conseguir para aprovechar los recursos disponibles en cada momento. Se pueden encontrar un buen número de aplicaciones de tecnologías emergentes que sirven de ejemplo como escenarios para este laboratorio: la ciberseguridad, las tecnologías cuánticas, la Inteligencia artificial, los drones o el procesamiento en la nube son algunas de ellas.



Fig. 3. Comunicaciones en ET. (Fuente: Ejército de Tierra)

Además, es necesario agregar y sintetizar la información de la manera más adecuada para presentarla en los niveles superiores: el operativo y el de mando estratégico. La interoperabilidad entre los diferentes dominios de la guerra, los físicos, terrestre, aéreo y marítimo, pero también el espacio y el ciberespacio, es un factor determinante. La información debe fluir entre dominios y cada nuevo bit de información debe ser complementario a la información disponible. La interoperabilidad se vuelve más importante aún si cabe para las fuerzas de coalición donde cada sistema ha sido desarrollado por equipos distintos con una conceptualización y unos requisitos diferentes. La importancia de la semántica y el desarrollo de ontologías, permite que sistemas de coalición de diferente naturaleza, puedan entenderse y cooperar en el campo de batalla.

El entorno CIS táctico y los problemas de seguridad en el ámbito digital plantean muchos desafíos por superar. Por un lado, el CIS debe poder operar de manera segura en un entorno digital de rápido desarrollo y garantizar la preparación de la misión. Por otro lado, deben garantizar permanentemente la libertad de acceso al ciberespacio, que no es solo un dominio transversal, sino también un dominio en sí mismo en el que las amenazas cibernéticas que afectan a la misión son numerosas, p.ej. la interrupción de infraestructuras críticas. En un mundo que despliega cada día

más servicios digitales, las ciberamenazas evolucionan cada vez más. En ocasiones hasta más rápido que los propios servicios.

Por lo tanto, habrá que poner el foco en la protección cibernética de los activos, así como las capacidades para mejorar la detección de ataques cibernéticos. La seguridad debe estar en la mente de los ingenieros desde el diseño de los componentes digitales y debe seguirle una ingeniería de seguridad proactiva que provea unos sistemas de información y comunicaciones ciberresilientes. La ciberdefensa es aún más necesaria no solo para proteger los sistemas, sino también para anticipar o prevenir la ocurrencia de ciberataques. La inteligencia sobre amenazas cibernéticas es una disciplina emergente que analiza los vectores de ataque utilizados para explotar vulnerabilidades y propone medidas de mitigación de riesgos.

Todos los activos militares deberán incluir capacidades para resistir nuevas formas de ciberataques con la llegada de la computación cuántica y las tecnologías de comunicación cuántica. En entornos de coaliciones multinacionales, la confianza digital es probablemente el aspecto más difícil cuando los usuarios se unen, agrupan o abandonan una infraestructura de red de forma dinámica.

Con el paradigma de todo conectado en el campo de batalla, una definición de nodos finales en este contexto se aplicaría necesariamente por igual a

plataformas y sensores. La proliferación de vehículos aéreos, terrestres y submarinos (UXV) no tripulados, habilitados por algoritmos de IA, pone un mayor énfasis en la formación de equipos entre humanos y máquinas. La colaboración con estos robots operando como un enjambre alcanza otro nivel superior de complejidad en la gestión de la infraestructura de comunicaciones digitales. El establecimiento de prioridades, la calidad del servicio y las características de segmentación dinámica de la red podrían mejorar las propiedades de una red potencialmente saturada que soporte un “sistema de sistemas”.

Hablando de redes desplegables y, en particular en el borde táctico, existe una tendencia creciente a explorar aplicaciones novedosas de una “*nube de combate*” para aliviar las limitaciones de ancho de banda de la red y potencia de procesamiento. Una red táctica conectada a la nube puede aportar nuevos avances al acelerar los intercambios de información.

### La superioridad de la información como objetivo final

Hoy en día, nuestro mundo se ha vuelto cada vez más digital y virtual. En los próximos años, se espera que esta tendencia se acelere y tenga efecto en las operaciones y capacidades militares. Los conjuntos de datos están aumentando con una magnitud difícil de manejar. Los sensores distribuidos, la autonomía, las nuevas tecnologías de la comunicación y el desarrollo de nuevos métodos analíticos aumentarán la capacidad de comprender la información que nos rodea.

Los conflictos actuales se caracterizan por una complejidad cada vez mayor que exige el manejo de enormes y heterogéneos volúmenes de información y, simultáneamente, solicita tiempos de reacción más cortos. Para hacer frente a escenarios bélicos híbridos, será necesario no solo centrarse en las áreas de guerra clásica y emergente, sino también analizar otros dominios sociales para lograr adecuadamente la conciencia situacional requerida.

Esto requerirá fortalecer las capacidades relacionadas con la recopilación de datos y su rápida transfor-

mación en información valiosa para apoyar las decisiones de los comandantes y coordinar adecuadamente múltiples fuerzas en múltiples niveles en operaciones conjuntas. La superioridad de la información jugará un papel aún más crucial para que las Fuerzas Armadas protejan a sus ciudadanos de amenazas externas y enfrenten de manera eficiente crisis futuras.

Estrechamente relacionada con este requisito está la necesidad de contar con un CIS táctico con un mayor grado de interoperabilidad. La complejidad de los conflictos futuros y la variedad de fuerzas que participan en las operaciones requieren de la capacidad de interactuar en diferentes niveles, que van desde la comunicación física hasta el intercambio automático de datos de un sistema a otro. Para garantizar esto, es necesaria una sólida gestión, protección y explotación del espectro electromagnético y del ciberdominio. No se puede lograr la superioridad de la información si ésta y los datos que la originan no se manejan adecuadamente. La proliferación de sensores militares, desde satélites hasta micro-drones, generará grandes cantidades de datos que deben transmitirse, compartirse y procesarse de manera efectiva. Las capacidades de gestión de la información deben mejorarse para apoyar a los comandantes que tienen que lidiar con grandes cantidades de información proveniente de múltiples y heterogéneas fuentes de información.

Un nivel superior en esta interoperabilidad es la interoperabilidad semántica, que además de dar especial importancia al significado de los conceptos pactados en una ontología militar, cuenta con mecanismos para clasificar información o inferir conocimientos.

El *Big Data* será crucial para mejorar las capacidades militares. La inteligencia artificial, en particular, requiere datos de entrenamiento de alta calidad para desarrollar nuevos algoritmos y aplicaciones.

Estas tecnologías aumentarán la eficiencia operativa, reducirán los costes, mejorarán el conocimiento de la situación en los niveles estratégico, operativo y táctico y tienen el potencial de crear una ventaja en la toma de decisiones.

El uso de inteligencia artificial en sensores para preprocesar información y proporcionar un uso adaptativo de frecuencias y ancho de banda tendrá un impacto en las comunicaciones militares. Los sensores proporcionan datos en el dominio físico. El concepto de sensores desplegados, la capacidad de detectar y rastrear cualquier objeto a distancia procesando los datos adquiridos por ellos, se verá habilitado significativamente por el crecimiento de la comunicación 5G y el Internet de las cosas (IoT). Todo será un sensor y todos los sensores estarán conectados en red. Las aplicaciones militares serán de amplio alcance, incluido el desarrollo de una *Common Operational Picture* multidominio.

El análisis y las técnicas computacionales avanzadas para el procesamiento y la fusión de datos mejorarán los rangos de los sensores y brindarán información contextual más rica. La inteligencia artificial, específicamente el aprendizaje automático, es una técnica computacional prometedora capaz de procesar grandes volúmenes de información. Estas herramientas predictivas son valiosas para detectar intenciones y predecir posibles acciones y eventos futuros. Mientras tanto, la computación cognitiva puede verse como una integración de algoritmos y métodos de diversos campos como la inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático, el procesamiento del lenguaje natural (PNL) y la representación del conocimiento para mejorar el desempeño humano en tareas cognitivas. Los futuros sistemas serán capaces de aprender y comprender

el lenguaje natural, así como la razón, e incluso interactuar de forma más natural con los humanos que los sistemas programables tradicionales. Los sistemas de computación cognitiva pueden complementar el trabajo humano en tres capacidades: mayor participación, mejor toma de decisiones basada en evidencia y descubrimiento de conocimientos ocultos en grandes cantidades de datos.

La comunicación segura y el almacenamiento de datos son esenciales en las operaciones militares. Las bases de datos son los medios tradicionales para almacenar y mantener datos estructurados y relacionados. Las tecnologías de control distribuido, como *blockchain*, han surgido y se han utilizado como gestión de datos distribuida y permanente. El mayor uso de tecnologías *blockchain* incrementará la capacidad militar para garantizar comunicaciones confiables y almacenamiento de datos.

### El papel de la ingeniería de sistemas y el desarrollo arquitectónico

La ingeniería de sistemas es otro aspecto en el que la transformación digital debe jugar un papel importante. Los ciclos de vida tradicionales, como las redes y los sistemas heredados, ya no pueden proporcionar las mismas respuestas a los ingenieros y desarrolladores de la nueva era digital. Las necesidades evolucionan cada vez más rápidamente. Por tanto, el uso de metodologías ágiles es más que conveniente para afrontar estos cambios



Fig. 4. Aplicaciones en la palma de la mano. (Fuente: Pixabay)

## En profundidad

y poder cumplir con las restricciones de los sistemas en un corto período de tiempo. Estas metodologías, como *Scrum*, se caracterizan por presentar frecuentemente prototipos al usuario final, pruebas de concepto y diseños modulares que avanzan en paralelo con el desarrollo del producto. Todo ello, teniendo en cuenta todas las posibilidades o escenarios futuros de uso para convertirlos en modelos adaptables.

La innovación también debe estar presente con arquitecturas adaptativas que combinen diferentes modelos de aprendizaje (por ejemplo, aprendizaje supervisado y no supervisado), según sea necesario en el momento, nubes privadas e híbridas y *Edge computing* donde el procesado de los datos se realiza dondequiera que la información sea recopilada por dispositivos o sensores para minimizar los tiempos de latencia en la transmisión.

Asimismo, en el mundo de la representación del conocimiento, las bases de datos relacionales también están dando paso a bases de datos no relacionales, esquemas XML y ontologías que inciden en la semántica de los conceptos que se manejan.

### Tecnologías para la hiperconectividad

Las batallas se libran principalmente en lugares desiertos, donde las comunicaciones no son óptimas e imponen dificultades en términos de potencia, latencia o fluctuación del retardo debido a ruido indeseado ( *jitter*). Esto se debe a dos cosas, primero, que las condiciones ambientales no son adecuadas, y segundo, que los dispositivos no están preparados para soportar estas condiciones límites. Por tanto, es necesario mejorar la interconectividad de los sistemas y brindar una mejor comunicación que permita a los soldados moverse por el campo de batalla, permaneciendo continuamente interconectados.

En primer lugar, es posible hacer uso de las comunicaciones por satélite de nueva generación. También se utilizan redes tácticas desplegadas, que son un conjunto de entidades militares interconectadas, a través de las cuales los soldados pueden comunicarse en las campañas o durante el transcurso

de la misión, con el fin de mejorar la conciencia situacional.

El uso de estas redes plantea algunos desafíos en términos de ciberseguridad en entornos de peligro: ancho de banda limitado, poco almacenamiento de datos y enlaces inalámbricos poco fiables o de baja velocidad de datos, que pueden abordarse mediante el uso de redes cognitivas y redes definidas por software (SDN) entre otras.

Ambas tecnologías se complementan y fomentan el uso conjunto. La primera de ellas, permite realizar una optimización del espectro y encontrar bandas de frecuencia libres sobre las que transmitir información. Desde un punto de vista operativo, puede asegurar una comunicación ininterrumpida con soldados aliados o con sistemas de apoyo, sin necesidad de que estos sean fijos. Sus principales características son:

- **Flexibilidad:** un único sistema que aprovecha la infraestructura existente y permite conexiones por cable o inalámbricas. También es compatible con múltiples frecuencias.
- **Alto rendimiento:** altas velocidades de transmisión en el nivel IP y gran alcance de enlace.
- **Facilidad de integración:** admite la integración de radios de combate y diferentes tipos de protocolos de comunicación.
- **Facilidad de gestión:** configuración sencilla con una red autoorganizada y una interfaz intuitiva.

Sin embargo, por otro lado, también tiene algunos inconvenientes que deben abordarse:

- Necesitan interconectividad a través de diferentes capas de la red.
- Es necesario mejorar la comunicación para aumentar el rango de movilidad de los combatientes.
- El desarrollo e implementación de estos sistemas tiene un alto coste.

Algunos de estos inconvenientes se pueden abordar mediante el uso del segundo tipo de redes previamente comentado (SDN), que se basa en la separación del plano de control y el plano de datos o aplicación. Esta técnica ofrece mayor flexibilidad, agi-

lidad y eficiencia, además de reducir el *hardware* necesario. Con ello se reducen los costos operativos y de material.

Por tanto, el uso de estas tecnologías, permite mejorar la movilidad de los combatientes, aprovechar la infraestructura ya existente por la Redes de Misiones Federadas (FMN) de la OTAN y evitar la existencia de un único punto de fallo. Si bien, debido al estado de desarrollo en el que se encuentran, no están completamente operativos, por lo que los soldados deben poder ejecutar misiones de manera independiente, hasta que se desplieguen modelos robustos y confiables de estas redes.

### Conclusiones

La transformación digital es un hecho que los sistemas, redes y comunicaciones tácticas no pueden ignorar. Debemos acompañar este progreso y beneficiarnos de él para brindar a nuestras Fuerzas Armadas los mejores medios en el teatro de operaciones para llevar a cabo su misión.

La cooperación es fundamental para acelerar el ritmo de adaptación. Reutilizar el trabajo realizado por otros y avanzar desde ese punto hacia adelante debe ser una máxima para, finalmente, compartir los resultados con toda la comunidad interesada en estos avances. Hay que perder gradualmente la noción de propiedad individual para adquirir la noción de propiedad colectiva.

Para que esto suceda, es necesario avanzar con pasos seguros y firmes. La transición a nuevas tecnologías debe suavizarse, permitiendo que las soluciones heredadas coexistan con los nuevos desarrollos. El cambio debe ser progresivo y la tecnología debe adaptarse a las necesidades.

Para acompañar este avance, el CIS táctico contará con algunas tecnologías habilitadoras, como la Inteligencia Artificial, la hiperconectividad, el Internet de las Cosas (IoT), la computación en el borde (*Edge Computing*) y la ciberinteligencia entre otras. El uso y aplicación de estas tecnologías proporciona al nivel táctico CIS una mayor conciencia situacional y una superioridad de la información que el combatiente no solo ya necesita, sino que está siendo exigida.

### Referencias

- [1] Fiott, Daniel. Digitalising Defence, Protecting Europe in the age of quantum computing and the cloud, Brief 4, Institute of Security Studies, March 2020.
- [2] Modular and adaptive tactical network to control, change and manage network behaviour, including cyber security consulted at
- [3] <https://eda.europa.eu/webzine/issue16/cover-story/cyber-resilience-a-prerequisite-for-autonomous-systems-and-vice-versa/>
- [4] Jesús Gómez Ruedas. Instituto Español de Estudios Estratégicos (ieee.es). Documento marco “Despega la transformación digital del Ministerio de Defensa” November 2015
- [5] Industria 4.0 en los sectores aeroespacial y de Defensa
- [6] Dr. José Luis Jiménez Martín. Dpto. de Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones. EUITT. Universidad Politécnica de Madrid. “Tecnologías aplicadas al Mando y Control. Sistemas C4ISR” October 2010
- [7] Instituto Español de Estudios Estratégicos (ieee.es). Cuadernos de Estrategia 179 “Análisis comparativo de las capacidades militares españolas con las de los países de su entorno” August 2016
- [8] Ejército de Tierra. Resumen ejecutivo ‘FUERZA 35’. 2019.
- [9] Ejército de Tierra. Fuerza 35. 2019
- [10] Revista de Aeronáutica y Astronáutica 890. Dossier (pags 66-94). February 2020
- [11] Revista general de la Marina. Apoyo logístico 4.0. September 2018.
- [12] Raúl Arrabales. ICEMD, El Instituto de la Economía Digital. “Computación Cognitiva. La nueva revolución del Big Data”. January 2016.
- [13] <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/darpa-sees-rich-space-for-advanced-ai-in-cyber-operations>
- [14] Gansler J. S., Lucyshyn W., Rigliano J., The Joint Tactical Radio System: Lessons Learned and the Way Forward, Center for Public Policy and Private Enterprise, February 2012
- [15] Marrone A., Nones M., Ungaro A. R., Technological Innovation and Defence: The Forza NEC Program in the Euro-Atlantic Framework, Instituto Affari Internazionali, 2016
- [16] Rose L., Massin R., Vijayandran L., Debbah M., Martret C. J., CORASMA Program on Cognitive Radio for Tactical Networks: High Fidelity Simulator and First Results on Dynamic Frequency Allocation, European Defence Agency, 2013
- [17] Dura M., RADMOR ready to design the ‘European’ Programmable Radio, Defence 24, 16th December 2015

# Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

Disponible en

[http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/Publicaciones.aspx?cat=BOLETINES TECNOLÓGICOS](http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/Publicaciones.aspx?cat=BOLETINES%20TECNOLÓGICOS)

<https://publicaciones.defensa.gob.es/>