

Boletín

DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa n.º 74 • 3.º trimestre de 2022

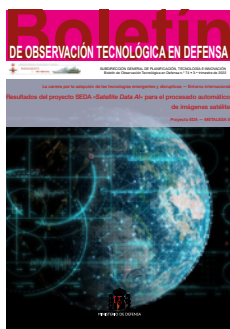
La carrera por la adopción de las tecnologías emergentes y disruptivas — Entorno internacional

Resultados del proyecto SEDA «*Satellite Data AI*» para el procesado automático de imágenes satélite

Proyecto EDA — METALESA II



MINISTERIO DE DEFENSA



Edita:



Paseo de la Castellana 109, 28046 Madrid

NIPO 083-15-183-4 (edición en línea)

NIPO 083-15-182-9 (impresión bajo demanda)

ISSN 2444-4839 (edición en línea)

ISSN 2444-4847 (impresión bajo demanda)

Autor: Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) 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); observatecn@oc.mde.es.

Director: Óscar Jiménez Mateo.

Consejo Editorial: José Agrelo Llaverol, Cte. Carlos Calderón. Snte. José María Martínez Benítez, María Isabel Pérez-Cerdá Herrero.

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): Carlos Garrido Sánchez; 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 Navales (OT PNAV): Cristina Mateos Fernández de Betoño, Jaime de la Parra Díaz; Observatorio de Plataformas Terrestres (OT PTER): Pablo Monasterio Albuerno; 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:

https://www.freepik.es/foto-gratis/render-3d-fondo-comunicaciones-red-tecnologia-global_10908245.htm#query=sat%C3%A9lite&position=6&from_view=search%22%3Elimagen%20de%20kjpgarg%20eter%3C/a%3E%20en%20Freepik

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. Ningún material publicado en esta revista podrá ser reproducido, copiado o publicado sin el consentimiento por escrito de los autores, legítimos propietarios de los contenidos.

Colaboraciones, suscripciones y dudas:

observatecn@oc.mde.es

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



DGAM
Subdirección General de Planificación,
Tecnología e Innovación

CONTENIDOS

Editorial

Actualidad

- 4 ¿Dónde hemos estado?
- 5 La carrera por la adopción de las tecnologías emergentes y disruptivas – Entorno internacional

Tecnologías emergentes

- 9 Resultados del proyecto SEDA *Satellite Data AI* para el procesado automático de imágenes satélite

En profundidad

- 11 Proyecto EDA – METALESA II

Tecnología e Innovación en el marco OTAN

En estos últimos meses la OTAN ha estado tomando medidas ambiciosas para aumentar su preparación tecnológica y responder a los retos provocados por los desarrollos globales en tecnologías emergentes y disruptivas (EDT). Con el fin de tratar de avanzar hacia este objetivo, se identificaron las siguientes áreas de acción: la financiación de la innovación, el fomento de los ecosistemas de innovación y el desarrollo del talento. La puesta en marcha de las iniciativas DIANA (*Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic*), y del Fondo de Innovación de la OTAN (*NATO Innovation Fund - NIF*), así como los avances hacia una Política de Innovación del Capital Humano de OTAN (*Human Capital Innovation Policy - HCIP*) son, entre otros, testimonio del compromiso de la Alianza ante esta urgencia y se presentan como una respuesta de la OTAN para hacer frente al desafío de este cambiante panorama de defensa y seguridad.

En colaboración con sus socios, la OTAN está en posición de liderar y promover el desarrollo de ecosistemas de innovación proactiva de escala y beneficio internacional, lo que se pretende materializar con la iniciativa DIANA, cuya constitución fue acordada por los Aliados en la Cumbre de Bruselas de 2021 y respaldada en la Cumbre de la OTAN de 2022 en Madrid. El propósito de DIANA es apoyar el desarrollo y la adaptación de tecnologías emergentes de doble uso a los desafíos críticos de seguridad y defensa, proporcionando a las mejores y más brillantes empresas emergentes de la Alianza acceso a programas de aceleración tecnológica a través de una red de sitios aceleradores y centros de pruebas que albergan las diversas naciones OTAN. DIANA se concentrará en potenciar aquellas tecnologías emergentes y disruptivas que la OTAN ha identificado como prioritarias, que incluyen: inteligencia artificial, procesamiento de *big data*, tecnologías cuánticas, autonomía, biotecnología y mejora humana, nuevos materiales avanzados, energía, propulsión y espacio.

Como iniciativa complementaria, pero concebido como una entidad totalmente separada de DIANA, se plantea el Fondo de Innovación de la OTAN (NIF – *NATO Innovation Fund*). Establecido formalmente el 30 de junio de 2022 y firmado por 22 aliados, en un plazo de 15 años invertirá 1.000 millones de euros en *start-ups* en fase inicial y otros

fondos de capital riesgo que desarrollen las tecnologías emergentes de doble uso prioritarias para la OTAN. El NIF será el primer fondo de capital riesgo multisoberano del mundo, y facilitará las inversiones sostenidas e intensivas en capital que necesitan las empresas emergentes de alta tecnología (*deep-tech*) para llevar sus innovaciones a mercado. Según las propias palabras del secretario general de la OTAN, este fondo «ayudará a dar vida a esas tecnologías nacientes que tienen el poder de transformar nuestra seguridad en las próximas décadas, fortaleciendo el ecosistema de innovación de la Alianza y reforzando la seguridad de nuestros mil millones de ciudadanos».

Las personas con profundas habilidades técnicas tendrán una mayor demanda a medida que las economías basadas en estas tecnologías maduren y crezcan, aumentando la competencia por captar estos talentos. Es importante, por lo tanto, que la OTAN se conecte con tendencias más amplias del mercado de talentos tecnológicos, fuera de la defensa, para mantenerse informado sobre el estado, las tendencias y las medidas que otros están tomando para eliminar el riesgo de deficiencias futuras en la capacitación de sus trabajadores. En este sentido, la OTAN ha llevado a cabo una asesoría relacionada con habilidades, talento y cultura del capital humano dentro de la organización, culminando en la Política de Innovación de Capital Humano de la OTAN (HCIP), un esfuerzo por desarrollar y educar a su fuerza laboral actual y crear una cultura de innovación para atraer y formar a personas técnicamente expertas, a fin de desarrollar recursos humanos que ayuden a potenciar las iniciativas de innovación y de tecnologías emergentes de la OTAN, como DIANA y el NIF, además de promover futuras generaciones de talento.

Se espera que estas herramientas, en línea con las metas y objetivos de la visión NATO 2030, permitan a la OTAN situarse a la vanguardia de los rápidos avances en EDT, aprovechar la ciencia subyacente y, de manera crucial, influir en su desarrollo y uso responsables. Trabajar en estas líneas ayudará a conseguir que la OTAN y los aliados puedan adoptar nuevas tecnologías a un ritmo adecuado y mantener la ventaja tecnológica necesaria para sustentar su política de seguridad y defensa.

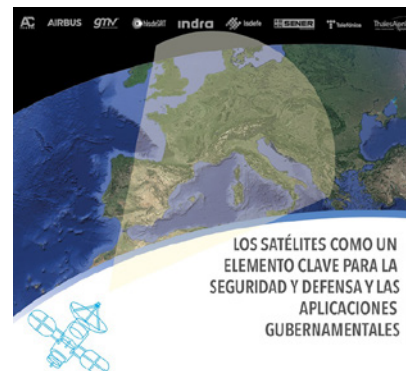
Actualidad

¿Dónde hemos estado?

7 - 9 de
septiembre
de 2022

- **XIV Seminario: Los satélites como un elemento clave para la seguridad y defensa y las aplicaciones gubernamentales**

El OT SATE acudió al seminario en el que tuvieron lugar conferencias de altos representantes de las FAS y de varios ministerios, donde se discutieron ámbitos de interés y retos a afrontar relacionados con la industria espacial para seguridad y defensa: SATCOM y el programa SPAINSAT NG; Observación de la Tierra y la continuidad a los actuales PAZ español (satélite de tecnología SAR) y HELIOS y CSO franceses (de tecnología óptica); PNT incluyendo el estado del GNSS europeo Galileo, y en concreto el servicio PRS; SST/SSA; y New Space. Se presentó además el estado de las iniciativas EDF y PERTE.



6 de
septiembre
de 2022

- **Taller Fuerza 2035 – Tecnología de lo básico. La protección del combatiente**

El taller con empresas 16 FUERZA 2035 – *Tecnología de lo básico. La protección del combatiente*, organizado por la DIAD, MALE y la SDGPLATIN y celebrado en el PCAMI, reunió a representantes de distintas unidades de la FFAA y del tejido tecnológico e industrial nacional.

La temática del taller giró en torno a nuevas tecnologías dedicadas a la protección del combatiente, incluyendo aspectos de protección balística, reducción de firma, el SISCAP, sistemas de posicionamiento, exoesqueletos, nuevos materiales de vestuario de última generación, etc., desarrollándose una serie de ponencias y una exposición de los materiales.



19 de
septiembre
de 2022

- **Workshop de alto nivel de la EDA sobre tecnologías emergentes y disruptivas (EDT)**

El día 19 de septiembre tuvo lugar en la sede de la Agencia Europea de Defensa (EDA), en Bruselas, un *workshop* de alto nivel en el que se discutieron las principales aplicaciones para defensa de las denominadas tecnologías emergentes y disruptivas (EDT), así como el conjunto de aspectos que pueden condicionar la manera de abordar su desarrollo e implantación en defensa. Estas actuaciones de la EDA en torno a las EDT se desarrollan en paralelo a las de otras organizaciones de defensa como la OTAN, lo que demuestra el interés e importancia de aprovechar estos avances tecnológicos en el ámbito de defensa.



La carrera por la adopción de las tecnologías emergentes y disruptivas – Entorno internacional

Autor: José Agrelo Llaverol, SDG PLATIN.

Palabras clave: OTAN, EDA, tecnologías emergentes y disruptivas, innovación.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: seguimiento de tecnologías emergentes con aplicación futura a defensa.

Introducción

Hace no poco tiempo, décadas ya incluso, aunque no deje de ser siempre tan novedoso, se viene hablando de unos grupos de tecnologías que surgen en paralelo a las tradicionales pero que tienen el valor añadido singular de poder producir cambios drásticos y positivos en la forma en que operan las organizaciones y los mercados, en sentido amplio. Presentan grandes riesgos en su investigación y explotación, pero también ofrecen potencial para grandes oportunidades. En este momento hay un cierto consenso en tenerlas agrupadas bajo la denominación *tecnologías emergentes y disruptivas* (EDT).

El nuevo y exigente paradigma en que se encuadra su desarrollo reclama una acción concertada de un gran número de actores sociales, civiles y de defensa, públicos y privados, de la industria, de la universidad, de los centros tecnológicos, pequeñas y medianas empresas (PYME), etc., pues con ello va también el futuro y la competitividad de la base tecnológica e industrial. El sector privado está también a la vanguardia en este campo.

A su vez, el grado de dualidad entre el sector civil y de defensa de estas tecnologías es variable, pero sin duda muy elevado. Es por ello más que resulta deseable poner en juego una asociación civil-defensa al máximo nivel posible, en un escenario con ya un largo recorrido por detrás en que hay que reconocer sin paliativos

que el ámbito civil es proveedor neto de tecnología al ámbito de la defensa. Las tecnologías se desarrollan en los dos ámbitos, cada vez más aceleradamente, y trascienden del uno al otro, pero el flujo neto es ya mayoritariamente de civil a defensa.

de mercado y aumentar su competitividad y crecimiento. Si es en el ámbito de la defensa, para buscar y explotar formas de colaboración que permitan a nuestros bloques geopolíticos mantener el grado de superioridad necesario y nunca suficiente para, a su

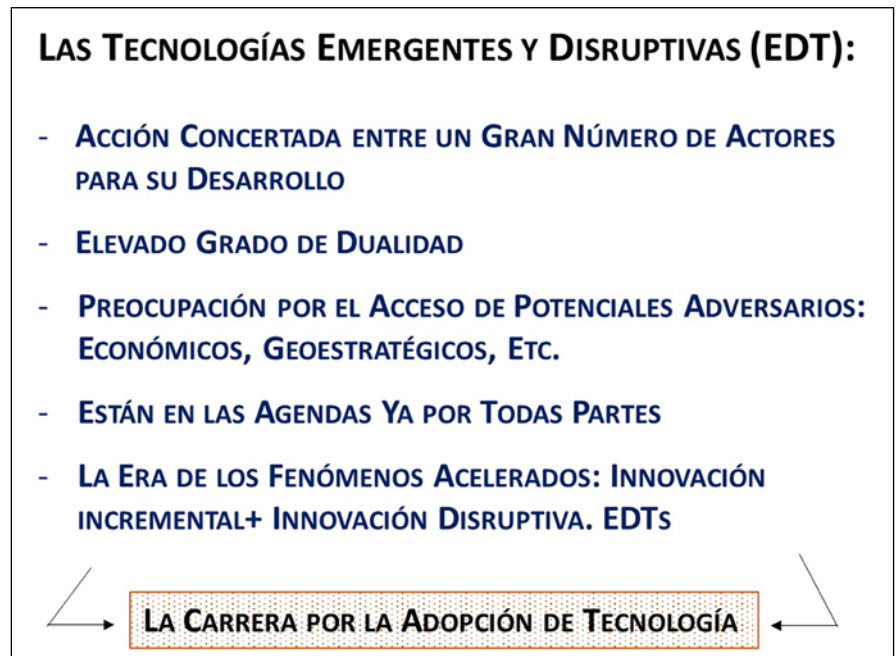


Figura1. La carrera por la adopción de EDT. (Fuente: Propia).

Por otra parte, estas tecnologías son cada vez más asequibles a una gran variedad de potenciales usuarios, no solo estados fallidos, grupos terroristas o similares, como podríamos pensar en primera instancia, sino simplemente a rivales económicos y geoestratégicos perfectamente legales. El incremento de fondos financieros, presupuestarios o fondos ilegales y la proliferación del conocimiento de las tecnologías, son factores que lo posibilitan. Pero, en cualquier caso, esta facilidad de acceso genera indudablemente amenazas y retos de varios tipos en nuestras naciones. Por tanto, el matiz crucial es que no solo se trata de que las naciones dispongan del dominio de esas tecnologías para su propia ventaja, sino de contrarrestar la posibilidad cada vez más real de que los rivales y competidores puedan hacerse con su dominio.

Hoy por hoy no hay organización de I+D+i en el planeta que no se ocupe de trabajar para abrir y hacer avanzar líneas de trabajo dentro de las ampliamente reconocidas EDT. Si es en el ámbito civil, para conquistar nichos

vez, mantener el poder de disuasión. Y, de no disponer de esa superioridad, para conquistarla y asentarla.

Ya no es suficiente la velocidad a la que se producen las tradicionales innovaciones incrementales en algunos de sus organismos más conocidos. No hay tanto tiempo. La competencia es muy amplia y los avances son muy lentos. Se pierde la antigua ventaja a pasos agigantados, es necesario acudir mucho más a la innovación disruptiva y, además, se necesita hacerlo de forma cooperativa para que la escala de trabajo garantice capacidad de afrontar la magnitud de los retos.

En este momento, pues, se está produciendo un vuelco hacia el desarrollo y explotación de las tecnologías emergentes y disruptivas. en todas las organizaciones internacionales de investigación y tecnología de las que España forma parte: la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), la Agencia Europea de Defensa (EDA), la Comisión Europea (CE) y otros foros de carácter bi y multilateral.

Actualidad

Innovación en la OTAN

La OTAN, como se cita en el editorial, está inmersa en un proceso interno de transformación de sus paradigmas, y de adaptación externa, para seguir manteniendo sus siete décadas de liderazgo tecnológico en el nuevo mundo multipolar y de intensa competición del siglo XXI, pero ahora empleando otros esquemas. Su iniciativa en EDT despegó a partir de la Cumbre de Londres de diciembre de 2019, en la que se aprobó, al máximo nivel de la Alianza, la hoja de ruta para la implantación de las EDT en los organismos relevantes de su estructura. Se trata, pues, de una entrada *top-down*.

Posteriormente, en febrero de 2021 los ministros de Defensa refrendaron la Estrategia de las EDT, que lleva por título *Promover y Proteger: Estrategia Común OTAN sobre Tecnologías Emergentes y Disruptivas*, y que vino a insertar definitivamente las EDT en el ADN de toda la OTAN y a convertirlas en una nueva y potente fuerza impulsora, de las más prioritarias, para apuntalar la continuidad de la Alianza. La estrategia tiene dos dimensiones: por una parte, la promoción del desarrollo de las EDT y de las tecnologías de doble uso para multiplicar y aprovechar plenamente su potencial y, por otra, la necesidad de crear un foro de debate sobre protección contra amenazas relacionadas con las EDT por el uso que pueden hacer de ellas competidores y adversarios. Las siete áreas clave de la Estrategia de la OTAN en EDT son: Inteligencia Artificial (AI), Datos y Computación, Autonomía, Tecnologías Cuánticas, Biotecnología y Mejoras Humanas, Tecnologías Hipersónicas y Espacio.

En la Cumbre de Bruselas de junio de 2021, los líderes acordaron la Agenda 2030 de la OTAN, orientada a guiar a la Alianza en el escenario ya descrito para los próximos diez años. La Agenda 2030 se estructura en cinco pilares temáticos, uno de los cuales es el de la *Preservación de la Vanguardia*

Tecnológica. Este pilar contempla dos propuestas novedosas: un Acelerador OTAN de empresas de nueva creación (*start-ups*) de innovación y un Fondo OTAN de innovación.

y defensa civiles y de defensa, que proporcionarán la definición de los problemas políticos y militares para aprovechar mejor el potencial de las tecnologías de doble uso emergentes

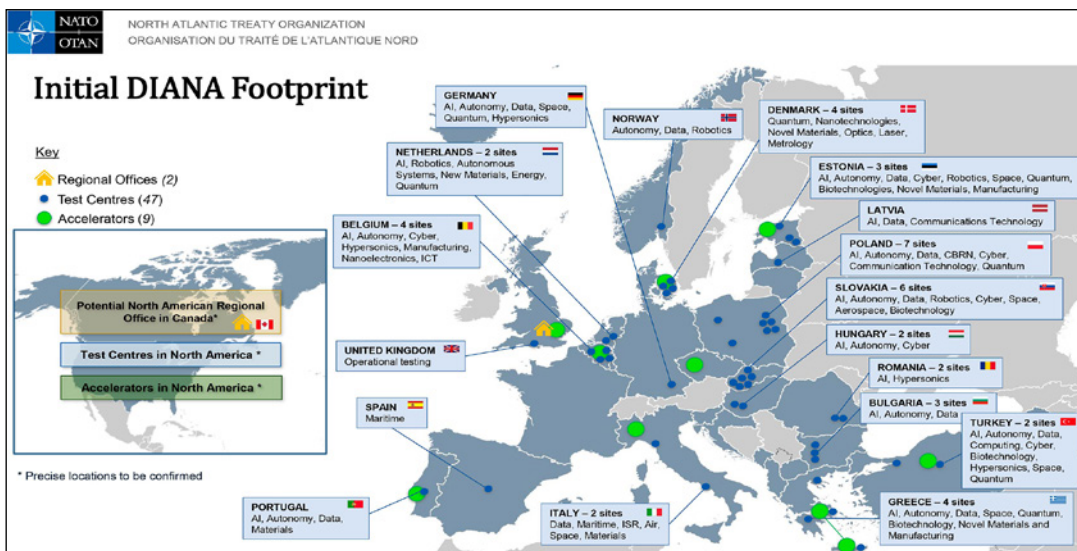


Figura 2. Esquema inicial de DIANA. (Fuente: propia).

El Acelerador de Innovación en Defensa del Atlántico Norte (*Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic*), DIANA es la solución que la OTAN pone sobre la mesa para potenciar el desarrollo económico, militar y tecnológico de los miembros de la Alianza para hacer frente a la competición del siglo XXI, un poco a imagen de la DARPA, la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Estados Unidos. La iniciativa DIANA constituirá la materialización de un esfuerzo entre entidades de innovación de los aliados, procedentes fundamentalmente del sector privado, del no gubernamental y del académico, que trabajen en ecosistemas de innovación reconocidos, junto con especialistas en seguridad

y disruptivas. Tengamos en cuenta que, a veces, una entidad tecnológica, especialmente tipo PYME *start-up*, sin capital, puede no haberse dado cuenta de que su producto también podría ser viable para la comunidad de defensa.

Para llevar a cabo todo esto, DIANA estará compuesta por oficinas en Norteamérica y Europa, por centros de ensayo a ambos lados del Atlántico y por redes de aceleradoras para fortalecer la capacidad de aprovechar la innovación para aplicaciones de seguridad y defensa. La red DIANA gestionará igualmente una base de datos de fuentes de capital de inversión de confianza, es decir, una lista de inversores aprobados de antemano interesados

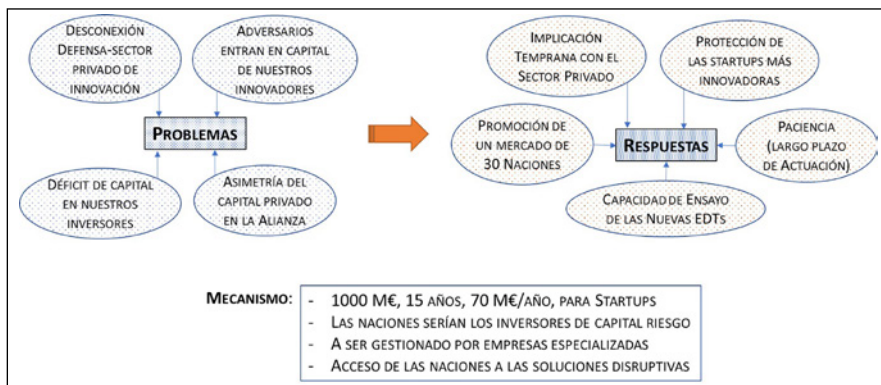


Figura 3. Fondo OTAN de innovación. (Fuente: propia).

en apoyar los esfuerzos tecnológicos de la OTAN, y con los que podrán conectar las compañías más pequeñas y así garantizarse que la tecnología estará protegida frente a transferencias ilícitas. DIANA, sin embargo, no solicitará propiedad intelectual.

Por su parte, el Fondo multinacional servirá para invertir de forma temprana en *start-ups* del sector privado para cubrir la transición de la aplicación comercial a la aplicación de defensa. El fondo ayudará a proteger el acceso a las tecnologías más innovadoras en poder de las entidades de las naciones miembro, por medio de capital, de adversarios y competidores. Además, otra ventaja es que habilita y asegura un mercado interno de 30+ naciones aliadas, junto a la disponibilidad de una amplia red de científicos, tecnólogos y usuarios finales para la realización de los oportunos ensayos. La propuesta, de momento, sería de 1.000 M€ distribuidos a lo largo de quince años. Las naciones serían así inversoras de capital riesgo en este tipo de innovaciones.

Su primer informe anual está disponible en https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2022/7/pdf/220715-EDT-adv-grp-annual-report-2021.pdf.

- La Junta de Innovación OTAN, que depende del subsecretario general, y que es un órgano que reúne a los líderes de alto nivel civiles y militares de las naciones aliadas para debatir sobre ideas externas a la Organización e implantar buenas prácticas para la adopción de la innovación en la OTAN.
- El *NATO Innovation Hub, del Allied Command Transformation (ACT)*, <https://www.act.nato.int/innovationhub>.
- La Organización de Ciencia y Tecnología, que tendrá un papel evaluador destacado según se identifiquen nuevas tecnologías según emerjan, con un sistema de vigilancia (*horizon scanning*) y prospectiva tecnológica, en busca de su relevancia para disuasión y defensa y/o protección frente a su

estas estaban concentradas en el pilar de Ciencia Excelente, bajo el programa de Tecnologías Futuras y Emergentes FET en HORIZON 2020. En HORIZON EUROPE se concentran en el pilar III de Europa Innovadora, como *EIC Pathfinder* y *EIC Accelerator*.

Pero no es en estas secciones de trabajo de la COM de las que nos ocupamos aquí. En defensa se ha estrenado prácticamente con el Fondo Europeo de Defensa (EDF), en 2021. Como sabemos, este fondo se sitúa bajo el marco del Plan Europeo de Acción en Defensa y con él la Comisión se compromete a complementar los esfuerzos de colaboración de los Estados miembro para desarrollar capacidades tecnológicas e industriales en defensa que respondan a los retos planteados en materia de seguridad, así como fomentar su grado de competitividad e innovación dentro y fuera de la Unión. Mercado interior y mercado exterior. Fomentar sinergias y compartir gastos de adquisición y mantenimiento de los equipos de defensa. El EDF apoya explícitamente el desarrollo de tecnologías disruptivas para la defensa en sus dos dimensiones, la de investigación y la de desarrollo. La fase de investigación, vinculada al desarrollo de capacidades de defensa, habilita un mejor nivel de la base tecnológica e industrial europea de cara a las mejores soluciones que se puedan ofrecer al usuario final. Conlleva riesgos significativos, pues aborda niveles de madurez tecnológica relativamente bajos y, además, trata la naturaleza potencialmente disruptiva de las tecnologías.

En cuanto a los criterios para optar a financiación para proyectos en tecnologías disruptivas, el Reglamento del EDF establece que las acciones podrán ser llevadas a cabo por dos entidades (en algún caso, incluso una), cuando la regla general para casi todos los demás tipos de acciones será de 3 entidades establecidas en, como mínimo, 3 estados miembros o países asociados diferentes. Ver *Funding & tenders* (europa.eu) y *Funding & tenders* (europa.eu) de las convocatorias de 2022.

Financieramente, el EDF distribuye su importe de unos 7.950 M€ a 7 años fiscales en unos 2.650 M€ para acciones de investigación, aproximadamente un tercio, y 5.300 M€ para acciones de desarrollo. Se contempla



Figura 4. Innovación en defensa de la comisión. (Fuente: propia).

España forma parte de ambas iniciativas desde la Cumbre de Madrid de junio de este año, donde quedaron refrendadas. Otras iniciativas OTAN sobre innovación son:

- El Grupo asesor sobre tecnologías emergentes y disruptivas que, en dependencia directa del secretario general de la Alianza, y formado por 12 expertos independientes de alto nivel procedentes del mundo académico e industrial, proporciona recomendaciones externas a los esfuerzos de la OTAN en innovación.

disponibilidad por rivales y competidores. De muy interesante consulta es el informe sobre tendencias tecnológicas 2020-2040, https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf.

Innovación en defensa de la COM

La comisión tiene una larga experiencia en conducción de políticas e instrumentos de apoyo a las EDT en el marco civil, ya desde los primeros programas marco. Aun a pesar del notable grado de transversalidad de las EDT,

Actualidad

una horquilla de entre el 4 % y el 8 % de la dotación total para asignar a convocatorias en acciones tanto de I como de D de apoyo a tecnologías disruptivas para defensa.

Innovación en la EDA

En cuanto a la EDA, obviamente también está inmersa en un proceso de adopción de las EDT, en una iniciativa de nuevo cuño en sintonía con las demás organizaciones. El énfasis de la EDA, en paralelo al de la Comisión, se orienta a aunar esfuerzos europeos para que, conjuntamente, se pueda situar a la Unión en el selecto grupo de potencias mundiales que dirigen el esfuerzo en EDT. Ha trabajado en



Figura 5. EDT de la EDA. (Fuente: propia).

ello en diversas ocasiones a lo largo de los años, pero ahora mismo se encuentra en un proceso de estructuración, a cuyo efecto aprobó hace unos meses un Plan de Acción sobre EDT. La EDA ha considerado también sus propias EDT. Según propone la agencia, la terminología *tecnología emergente* y *disruptiva* cubre tecnologías en desarrollo muy complejas con potencial para revolucionar las capacidades, la estrategia y las operaciones militares del futuro.

La agencia cuenta, entre otros, con dos instrumentos consolidados para asegurar su preparación para este reto: su estructura de expertos en los Grupos de Tecnologías (CapTechs) y las agendas estratégicas de investigación específicas de los mismos, así como su Agenda Estratégica Global de Investigación, (*Overarching Strategic Research Agenda*, OSRA). La OSRA establece, entre otras, unas hojas de ruta para priorizar y

secuenciar esas necesidades que los Estados miembro definen también ahora en EDT. Los principios sobre los que propone trabajar son: (1) orientación por capacidades, (2) orientación hacia usuarios finales, (3) sinergias con otros actores de la UE, (4) evitación de duplicidad con la OTAN, (5) creación de una función de observatorio tecnológico sobre proyectos en curso relativos a EDT en cualquier parte del escenario.

Pero lo verdaderamente novedoso en la EDA es el lanzamiento en mayo 2022 del *Hub* de Innovación en Defensa de la UE, HEDI, por los ministros de Defensa (hedi-factsheet-(final).

pdf (europa.eu)). Está concebido en el marco del *Strategic Compass* como una plataforma para estimular y facilitar la cooperación entre los Estados miembros en actividades de innovación, incluyendo la búsqueda

de sinergias con actividades equivalentes de la COM, especialmente aquellas a la luz del *EU Defence Innovation Scheme (2022)*, y la mejor cohesión posible con las de la OTAN. Su despliegue se efectuará en 3 fases temporales, a lo largo de un tiempo no claramente establecido, y contemplará actividades clasificadas en 6 tipos:

- Elaboración de un mapa o foto común de la innovación y las EDT en defensa en Europa
- Potenciación de los premios de innovación
- *Innovation challenges & Hackatons*
- Pruebas de concepto y demostradores
- Demostraciones de innovación
- Campañas de desarrollo y experimentación de conceptos, y de diseños simultáneos.

Todo esto está todavía en fase de despliegue.

El Ministerio de Defensa

En cuanto al MINISDEF, se encuentra plenamente alineado con los esfuerzos que se hacen a escala internacional y se engrana también a escala nacional. En 2021 fue promulgada la nueva edición de la Estrategia de Tecnología e Innovación en Defensa, la ETID 2020, que contiene numerosas referencias a las EDT, convirtiéndose así en prueba de que forman parte del ADN de nuestra visión de la I+D+i. Sin entrar a comentar la ETID en profundidad, porque realmente resulta muy explícita, sí conviene citar que, dentro del pilar de Objetivos Tecnológicos, se ha definido un nivel de *Seguimiento de tecnologías emergentes con potencial aplicación futura a defensa* donde se ubica la tarea de vigilancia tecnológica en torno a un conjunto de EDT ya conocido que incluye: computación cuántica; comunicación e información cuántica; sensores y metrología cuántica, incluyendo el campo de la fotónica; simulación cuántica; propulsión en régimen hipersónico; propulsión electromagnética; propulsión por supercavitación; radar cognitivo; nanofotónica; detectores de alta sensibilidad en el rango visible y NIR para el desarrollo de nuevos sistemas de visión nocturna; biología sintética; nuevos materiales y arquitecturas robóticas complejas.

Conclusiones

Las EDT tienen la capacidad de producir cambios drásticos y positivos en la forma en que operan las organizaciones y los mercados. Presentan grandes riesgos en su investigación y explotación, pero también ofrecen grandes oportunidades.

Las iniciativas de las organizaciones internacionales de investigación y tecnología de las que España forma parte, la OTAN (DIANA, Fondo de Innovación, STO, otros), los CapTech y HEDI de la EDA, el programa EDF de la Comisión Europea (CE) y otros foros de carácter multilateral, están apostando por que las EDT produzcan un beneficio tangible tanto para la defensa como para la ventaja competitiva de la Base Tecnológica e Industrial de la Unión Europea.

A nivel nacional, el Ministerio de Defensa está promoviendo iniciativas que se ajusten a los esfuerzos a nivel multilateral que se plasma en la Estrategia de Tecnología e Innovación en Defensa, la ETID 2020, que contiene numerosas referencias a las EDT.

Tecnologías emergentes

Resultados del proyecto SEDA Satellite Data AI para el procesado automático de imágenes satélite

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

Palabras clave: *Deep Learning*, redes convolucionales, procesado de imágenes, inteligencia artificial.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 11.1.3, 11.1.4.

Introducción

SEDA – *Satellite Data Ai* es una propuesta de proyecto seleccionada y presentada por la empresa Hi-Iberia a la convocatoria Coincidente 2018 dentro de la temática *Sistemas inteligentes de análisis y explotación de información aplicado a la resolución de problemas militares*.

El objetivo principal del proyecto SEDA es desarrollar y probar un demostrador tecnológico que permita automatizar el proceso de obtención, análisis y fusión de datos satelitales de diferentes fuentes de datos (tanto privadas como públicas) de tal forma que se garantice la detección temprana y eficaz de elementos o situaciones anómalas relevantes que apoyen la toma de decisiones en el proceso de creación de inteligencia militar del Centro de Operaciones y Vigilancia de Acción Marítima (COVAM).

Este artículo pretende describir las tecnologías de detección que se han empleado durante el desarrollo del proyecto y presentar los resultados obtenidos, una vez finalizado el proyecto.

Los resultados del proyecto SEDA han permitido disponer de una plataforma web de inteligencia geoespacial para defensa que, basada en un conjunto de motores de inteligencia artificial, es parametrizable de tal forma que permite seleccionar una localización concreta a monitorizar así como el tipo de objeto o anomalía que se pretende detectar.

Deep Learning para el procesamiento automático de imágenes

La principal tecnología disruptiva utilizada en el proyecto SEDA ha sido el uso de motores de inteligencia artificial para el procesamiento automático de imágenes satelitales mediante el uso de *Deep Learning*.

La tecnología *Deep Learning* se puede considerar un subconjunto de algoritmos de *Machine Learning* basados en el uso de redes neuronales profundas. La principal diferencia entre ambas tecnologías es que el *Deep Learning* es capaz de extraer de forma automática las caracterís-

cada una de ellas formada por estructuras complejas que realizan múltiples transformaciones no lineales y que son capaces de extraer diferentes características de los datos.

Una de las principales novedades que ha introducido el proyecto SEDA ha sido el reconocimiento de imágenes satelitales no solo en imágenes ópticas del tipo RGB¹ sino en imágenes radar, extendiendo así la capacidad de detección fuera del espectro visible. Sin embargo, este proceso no ha sido sencillo ya que uno de los problemas encontrados durante la fase de implementación del sistema de

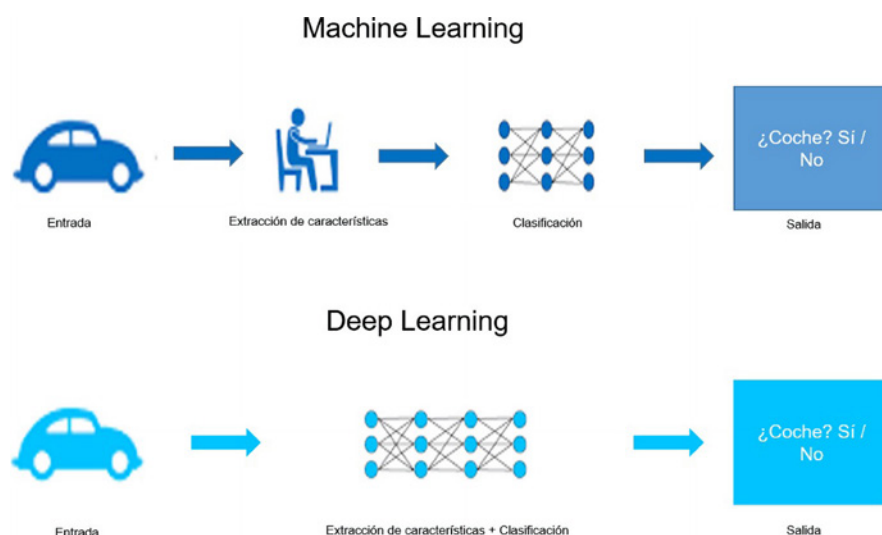


Fig. 1. Comparativa entre el análisis de datos del Machine Learning frente al Deep Learning (Fuente: propia).

ticas que definen un sistema, proporcionando un marco universal de aprendizaje para la representación de información visual.

Aunque las redes neuronales artificiales eran conocidas desde los años cincuenta, su popularización no se produjo hasta la aparición del *Deep Learning* hace algunos años, favorecido por factores como el aumento de la potencia de computación, la cantidad de datos existentes, la aparición de nuevos algoritmos, paradigmas de programación o la mejora en las infraestructuras a nivel *hardware*.

Deep Learning modela abstracciones de alto nivel en datos mediante redes neuronales profundas compuestas por múltiples capas de procesamiento,

Deep Learning como el planteado en SEDA ha sido el hecho de que, para entrenar los motores de inteligencia artificial que lo componen, se necesitan una cantidad ingente de datos etiquetados de imágenes similares a las que se quieren reconocer. A pesar de la existencia de gran cantidad de imágenes satelitales en fuentes de información específicas, la mayoría de ellas se encuentran sin etiquetar. La solución que se ha buscado para abordar este problema durante el proyecto SEDA ha sido el uso de algoritmos de *Deep Learning* que permiten entrenar modelos con poca

¹ RGB (sigla del inglés *red, green, blue*; en español, rojo, verde, azul) composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios de la luz.

Tecnologías emergentes

cantidad de imágenes etiquetadas. En concreto se ha trabajado con las llamadas redes neuronales convolucionales profundas, donde se realiza una transferencia de conocimiento para reutilizar modelos de *Deep Learning* entrenados en una antigua tarea a la tarea en curso. Con esto, se consigue entrenar nuevos modelos con

de *Machine learning* frente al uso de la transferencia de aprendizaje.

Redes neuronales convolucionales

Las redes neuronales convolucionales se pueden definir como un tipo de red neuronal especializada en analizar las propiedades visuales de los objetos. Estas características logran que

Al aplicar estas técnicas al dominio de interés de defensa se pueden identificar plataformas, instalaciones militares o cambios que se puedan producir en el terreno entre dos momentos diferentes, por ejemplo, el despliegue de un campamento de campaña en zona de operaciones.

Resultados obtenidos en el proyecto SEDA

El alcance final del proyecto ha sido la obtención de un demostrador tecnológico completamente operativo entrenado para los casos de uso determinados y definidos por el Centro de Operaciones y Vigilancia de Acción Marítima de la Armada. Entre estos casos de uso contemplados se encuentran el reconocimiento de buques por tipo y por clase, la detección de buques en zonas específicas definidas con la posibilidad de alertar sobre su localización, la detección de buques abarloados² o el seguimiento múltiple de trazas a lo largo del tiempo, entre otros.

El desarrollo del demostrador ha permitido mejorar el análisis para la detección de objetivos en imágenes satélite basado en un sistema inteligente de redes neuronales profundas debidamente entrenado para la interpretación automática de imágenes y la detección en ellas de los elementos buscados, en base a los casos de uso previamente definidos.

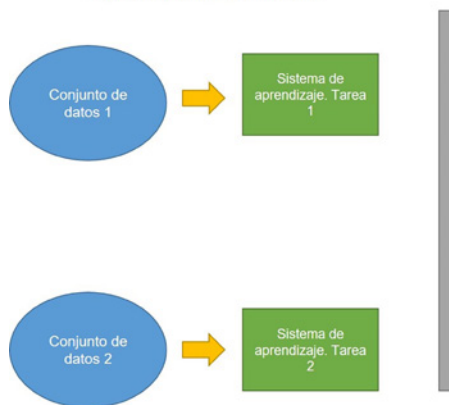
Además, se ha desarrollado un portal web para la generalización del proceso de obtención de datos de diferentes fuentes, tanto públicas como privadas, que permite recolectar y almacenar los datos en una base de datos georreferenciada.

Por último, también se ha desarrollado un sistema de fusión e integración de los datos obtenidos desde diferentes fuentes para combinar aquellas características relevantes y obtener un conjunto de datos geoespaciales preprocesados.

El proyecto SEDA, de esta forma, está facilitando los procesos de inteligencia militar asociados al tratamiento de imágenes satelitales y mejorando la consciencia situacional de nuestras Fuerzas Armadas en el desarrollo de las misiones que se le encomiendan.

² Un buque está *abarloado* cuando se sitúa con el costado muy próximo a un muelle o a otro buque.

Aprendizaje máquina tradicional



Transferencia de aprendizaje

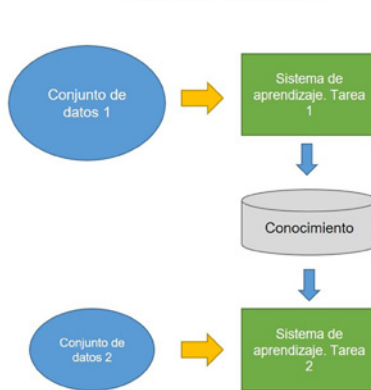


Figura 2. Diferencias entre el aprendizaje máquina tradicional frente a la transferencia de aprendizaje (Fuente: propia).

menos datos y en menor tiempo.

Transferencia de aprendizaje con redes neuronales convolucionales

El término de transferencia de aprendizaje se refiere, como se ha comentado anteriormente, a reutilizar el conocimiento adquirido al realizar una tarea para hacer otra similar. De forma específica, cuando se transfiere aprendizaje en redes neuronales convolucionales muchas características que son comunes a una variedad de conjuntos de datos como pueden ser las líneas o bordes de las imágenes se transfieren de una imagen a otra.

La transferencia de aprendizaje es una de las técnicas más importantes utilizadas en *Deep Learning* para el aprendizaje automático en inteligencia artificial, ya que es un recurso economizador de tiempo y de grandes esfuerzos de cálculo. Con los datos obtenidos de una tarea similar, pero más genérica, se evitan aproximaciones más costosas a un punto de partida óptimo.

En la siguiente imagen (fig. 2) se muestra de forma esquemática la diferencia entre el funcionamiento tradicional de aprendizaje con técnicas

la inteligencia artificial pueda llegar a simular a la visión humana.

En este caso particular de una red neuronal, el término convolución proviene de las matemáticas y describe una función aplicada a otra. Se trata de una operación en la que se descartan las diferencias internas entre una misma categoría de objetos, y esta discriminación sobre las peculiaridades resulta clave al asegurar una asignación de etiquetas con altas probabilidades de ser las correctas.

Sin embargo, para la aplicación de estas técnicas, la cantidad de imágenes para el entrenamiento de las redes neuronales debe ser elevada ya que cada una de las imágenes se analiza diferenciando todas sus partes en base al color. Cada uno de los píxeles de la imagen segmentada proporciona una información numérica y es, en este momento, cuando las convoluciones entran en juego al buscar patrones por comparación con la imagen objeto de clasificación automática y el grupo de píxeles segmentados superponiéndose en la imagen. Las superposiciones sobre la imagen generan nuevas salidas. Cuanto más complejas sean las imágenes y formas contenidas en ellas, mayor deberá ser el número de convoluciones.

En profundidad

Proyecto EDA – METALESA II

Autores: José Antonio Marcotegui, Eduardo Olariaga, Eric Aguirre, TAFCO Metawireless, S.L.; Thomas Bertuch, Taher Badawy, Fraunhofer Institute for High Frequency; Miguel Beruete, Francisco Falcone, Dayán Pérez-Quintana, Universidad Pública de Navarra.

Palabras clave: *Scanned arrays*, antenas planas, antenas conformadas, ángulo de barrido, diodos varactores, metasuperficie plana, *faceted metasurface*, drones.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 2.1.1.

Introducción

En 2010, la EDA inició dos proyectos en el ámbito de los metamateriales para aplicaciones de radar militar. En aquel momento, en EE.UU. ya se estaban realizando inversiones en este sentido, mientras que en Europa las actividades

se concentraban principalmente en investigación básica a nivel civil.

En dicha convocatoria, la EDA concedió el proyecto METAFORE (*Forecasts in Metamaterials with Extreme Parameters for Disruptive Antennas, Radomes, and Cloaking in Radar Applications*), al consorcio formado por el instituto Fraunhofer FHR, la Universidad SUPELEC de París, la Universidad Pública de Navarra (UPNA) y la empresa TAFCO Metawireless, S.L., surgida como *spin-off* de la UPNA. El objetivo principal consistió en identificar la idoneidad de utilizar metamateriales en aplicaciones de radar en el ámbito militar.

Se pueden definir los metamateriales como estructuras artificiales que manifiestan propiedades electromagnéticas susceptibles de ser diseñadas, y con las que lograr propiedades físicas que no se observan en la naturaleza. Los metamateriales constituían, por tanto, una tecnología innovadora que se expandía rápidamente con un

gran número de aplicaciones, muchas de las cuales, con una clara relevancia en el ámbito de defensa. En particular, en el área asociada al control de la sección recta radar (RCS) y la configurabilidad de antenas mejoradas.

Los resultados se plasmaron en una serie de informes donde se desarrollan aspectos tales como el estado del arte, la previsión del desarrollo tecnológico, la identificación de áreas que precisan de desarrollo por parte de los Ministerios de Defensa de los países partícipes, y los intereses de los socios industriales, así como posibles aplicaciones comerciales y las desventajas o limitaciones de la tecnología civil. También se estableció una hoja de ruta con propuestas de proyecto para diferentes áreas tecnológicas en el ámbito de los metamateriales, así como la definición de una matriz que sintetiza la relación entre las capacidades y aspectos militares relevantes y las tecnologías habilitadoras clave que se deberían desarrollar (fig. 1).

		Key Enabling Technology Areas	Military Relevant Topics and Capabilities						
			Radar / Sonar Signature Management	Improved Antenna Configurations	Metaradome	Directed Energy Systems	Multi-Purpose Systems for Broadband RF Applications	HALE UAVs	Concealed Threat Detection
Effect	Artificial dielectric / magnetic Materials	•	+	•		+		+	
	Electromagnetic Bandgap Structures	•	+	•	•	+	•	+	
	Electromagnetic Gradient Surfaces	+							
	Negative index materials	•	•	+		•	•	•	
	Extraordinary Transmission	•		•	•	+	•		
	Acoustic MTM	+							
Technology	Quantum artificial electromagnetic media	+		•		+			
	Switchable & tunable MTM	+	+	•		+	•	•	
	MTM enhanced gain media		•		+	•		+	
	Transmission Line MTM		+			+	•	•	
	Isotropic 3D MTM	•		•					
	Split Ring Resonator	+	+	•	•	+	•	•	
Application	Biologically inspired intelligent MTM	+	•			•			
	Miniaturisation	+	+		•	+	+	+	
	Cloaking	+	•	+		•	•		
	Frequency Selective Surfaces	+	•	+	•	+	+		
	Thin absorbing structures	+	+			•	+		
	THz absorbers / THz MTM	+					•	+	
	Very directional antennas		+		+	•	•	+	
	Stop band free LWA		+			+	•	•	
	Super- / Hyperlens		+		+	+	•	•	
WAIM for phased array antennas	•	+			+	•	•		

Figura 1. Matriz military relevant topics vs key enabling technologies. (Fuente: Proyecto METAFORE).

En profundidad

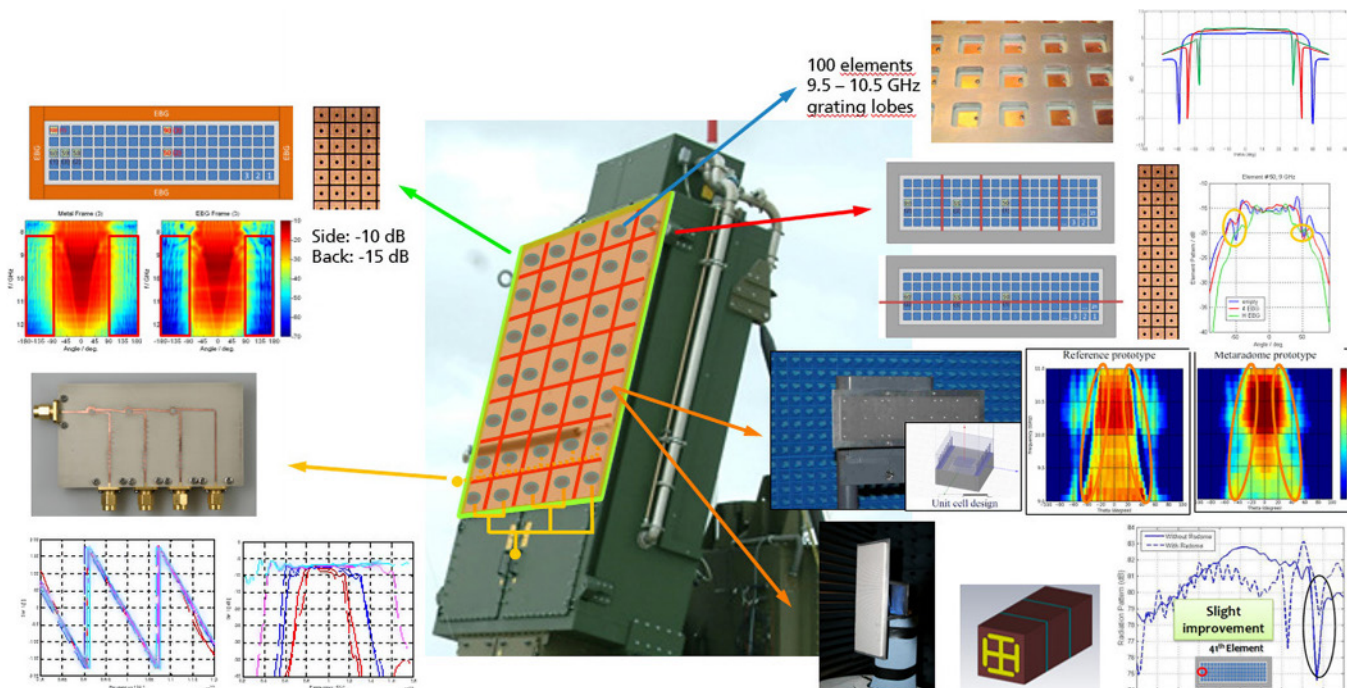


Figura 2. Resumen resultados METALESAs. (Fuente: Proyecto METALESAs).

En el año 2010 también se inició el Proyecto METALESAs (*Meta-materials for Active Electronically Scanned Arrays*) cuyo objetivo era demostrar la aplicabilidad de los metamateriales para mejorar el rendimiento o reducir los costos de los componentes críticos de las antenas AESA (*Active Electronically Scanned Array*) modernas para los sistemas de radar militares actuales. El consorcio estaba formado por el instituto Fraunhofer FHR, el centro de investigación ONERA, la Universidad de Siena y la UPNA, la empresa Thales *Systèmes Aéroports* y TAFCO *Metawireless*, S.L. Los aspectos desarrollados fueron los siguientes:

- Redes de alimentación RF compactas y de bajo coste para interfaz AESA.
- Mejora de las capacidades de escaneo mediante:
 - ◊ Reducción de radiación posterior y lateral.
 - ◊ Reducción del efecto *blind spot* para ciertos ángulos de escaneo y reducción de interferencia por medio de un *metaradome*.

En general, se obtuvieron mejoras en cada uno de los temas anteriores y se identificaron las correspondientes

limitaciones. La recomendación en el caso de las redes de alimentación consistió en elevar la propuesta a un nivel mayor de madurez (TRL>3). En cuanto a la reducción de la radiación posterior y lateral, se consideró que la tecnología utilizada era adecuada y podía ser aplicada a cualquier antena radar. El paso a un futuro nivel TRL5 sería directo. Para el caso de la reducción del *blind spot* se recomendó la realización de un nuevo metaradome, teniendo en consideración las limitaciones detectadas y las diferentes propuestas expuestas en el proyecto.

METALESAs II

El Proyecto METALESAs II se ha ejecutado en el periodo entre enero 2019 y marzo 2022. El consorcio estaba formado por el Instituto Fraunhofer FHR, la UPNA y TAFCO *Metawireless*, S.L. El objetivo del proyecto ha sido el uso de metamateriales para aumentar la eficiencia y la fiabilidad de los sistemas de radar, en relación al comportamiento del barrido o escaneo de haz en *arrays* de antenas planas y conformadas.

Para ello, se han tenido en cuenta los resultados del anterior proyecto EDA METALESAs. En particular, la

investigación previa y la implementación de la metasuperficie configurada como WAIM (*Wide-angle impedance matching*), ha sido muy relevante para el desarrollo del proyecto METALESAs II.

El objetivo del proyecto ha sido demostrar la viabilidad de ampliar el ángulo de barrido de las antenas AESA de $\pm 60^\circ$ a $\pm 80^\circ$. El contexto operativo militar de este objetivo, abordado específicamente en este proyecto, se vincula con la capacidad de vigilancia del radar situado en el morro de los aviones de combate. Un mayor ángulo de exploración mejoraría el rendimiento en combate aéreo cercano (*dogfight*) mediante la detección y el seguimiento anticipado de los objetivos que se aproximan (por ejemplo, misiles), en comparación con las antenas AESA convencionales; lo que facilitaría las maniobras evasivas tempranas y aumentaría la capacidad de supervivencia de la plataforma. En general, un aumento de los ángulos de exploración de las antenas AESA sería una mejora del rendimiento de los sistemas de radar modernos, independientemente de la plataforma. Para los desarrollos del proyecto METALESAs II se han definido las siguientes especificaciones:

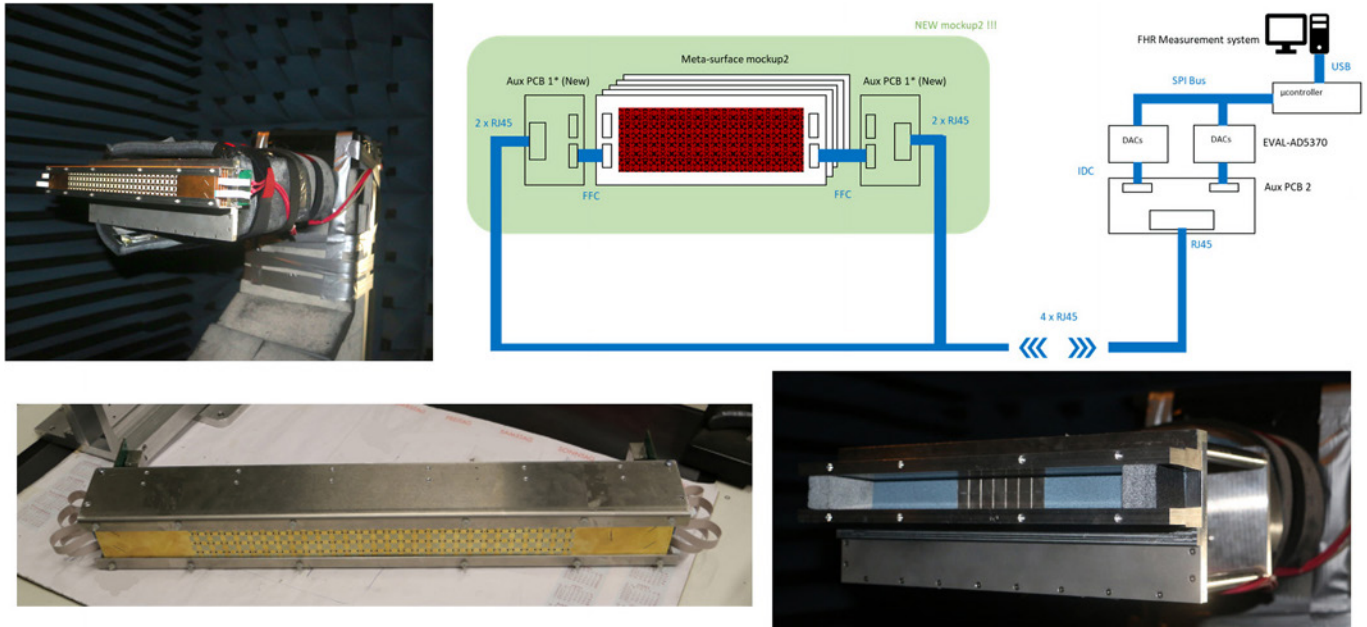


Figura 3. Metasuperficie plana.
(Fuente: Proyecto METALESA II).

Parámetro	Valor
Frecuencia central	10 GHz
Ancho de banda de operación	9.5 GHz – 10.5 GHz (banda X)
Polarización	Dual
Barrido (sin metasuperficie)	$\pm 60^\circ$ (planos E y H)
Barrido (con metasuperficie)	$\pm 80^\circ$ (planos E y H)

En este contexto, se han diseñado y fabricado dos demostradores de *hardware*, con estructura de metasuperficie de barrido ajustable por salto de fase, donde la variación de fase entre celdas se produce haciendo uso de diodos varactores. El primer demostrador (fig. 3) implementa una metasuperficie plana de doble polarización con un rango de cambio de fase de 300° , que se emplea conjuntamente con una antena de *array* plana que consta de 7×2 elementos. El segundo demostrador (fig. 6) implementa una metasuperficie compuesta por varias caras planas (*faceted metasurface*), de doble polarización, con un rango de cambio de fase de 170° , que se emplea conjuntamente con una antena de *array* conformada que consta de 21×5 elementos (21 módulos lineales *subarray*, cada uno de los cuales implementa 5 elementos de antena de doble polarización, dispuestos en forma de superficie curva).

Con respecto a los resultados obtenidos con el demostrador de *metasuperficie plana*, y considerando como excitación únicamente el elemento central del *array*; en la fig. 4 se muestra el comportamiento del barrido de haz producido por la metasuperficie. El voltaje aplicado a los diodos

varactores de cada celda de la metasuperficie se calcula por medio de un proceso de optimización, de tal forma que se produce una compensación de fase dinámica *tipo lente* combinada con el cambio de fase asociado a cada ángulo de barrido deseado.

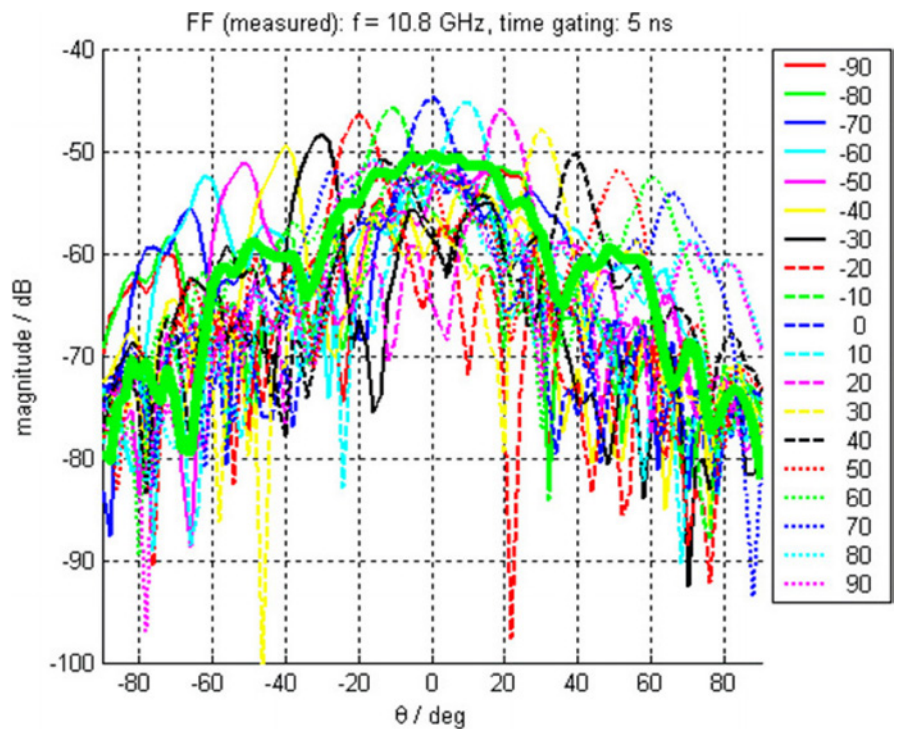


Figura 4. Resultados elemento central *array* y barrido producido por la metasuperficie.
(Fuente: Proyecto METALESA II).

En profundidad

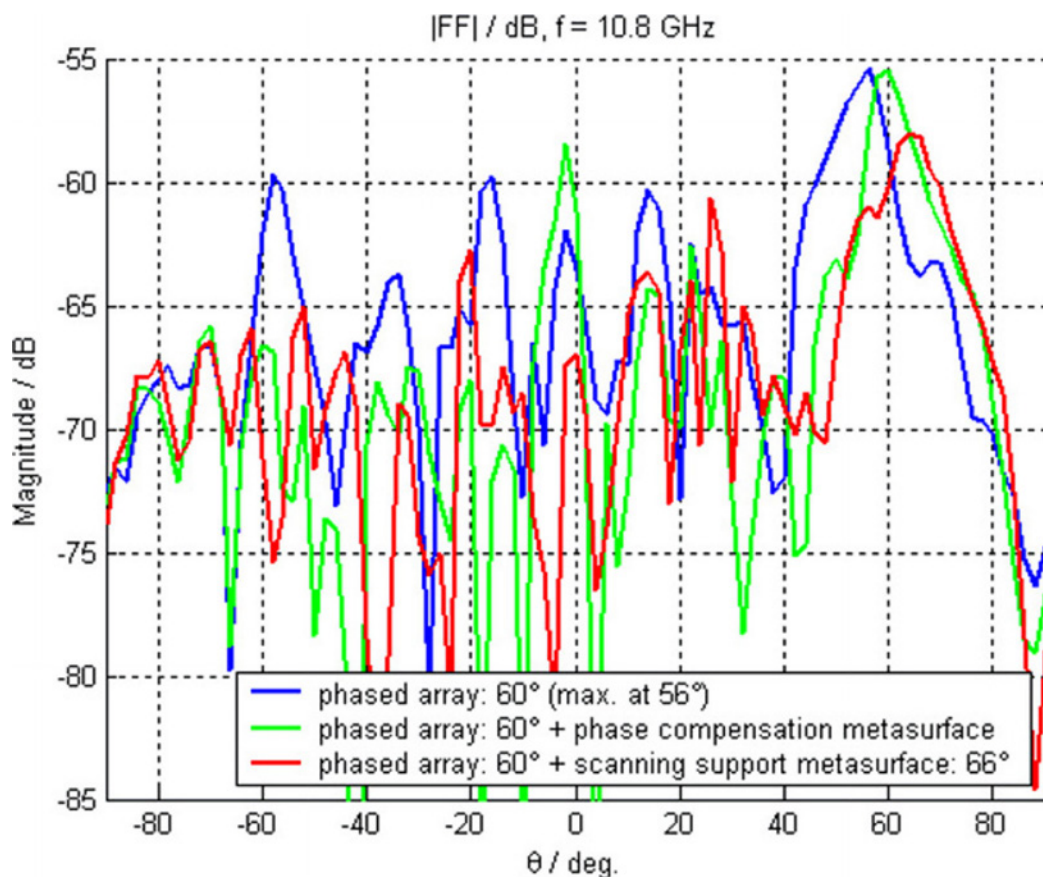


Figura 5. Resultados todos elementos *array* plano y barrido producido por la metasuperficie. (Fuente: Proyecto METALESA II).

La fig. 4 muestra cómo se produce efectivamente el apuntamiento para diferentes ángulos y cómo la amplitud de las mediciones con compensación de fase para diferentes ángulos es siempre mayor que la del elemento central del *array* sin compensación.

Al excitar con todos los elementos del *array*, la aportación de la metasuperficie y el proceso de optimización aplicada a la misma, mejoran el comportamiento de barrido de la antena *array*, pasando de un ángulo máximo de escaneo de 56° a 66°, como se muestra en la fig. 5. Estos resultados se han obtenido con un proceso de optimización simple. Consideramos que, profundizando en el comportamiento de la plataforma *hardware* y realizando más medidas, sería factible mejorar el proceso de optimización y conseguir mejores resultados.

Con respecto al segundo demostrador (*faceted metasurface*), que se diseñó para mejorar el comportamiento de escaneo de una antena *array* conformada; indicar que las

características singulares de esta metasuperficie son principalmente su pequeño grosor (de solo 1 mm) y su capacidad de polarización dual con pérdidas de inserción muy bajas

(de máx. 2 dB). El rango máximo de cambio de fase es de 170°, que se mostró suficiente para todas las funcionalidades consideradas. En la fig. 6 se muestra una de las posibles configuraciones de la *faceted metasurface* integrada con la antena *array* conformada, durante las mediciones en la cámara anecoica.

Después de varios experimentos de medición, se ha demostrado que la *faceted metasurface* puede implementar con éxito, para el caso de excitación por medio de un único elemento de antena, funcionalidades como compensación de fase (similar a una lente) y compensación de fase combinada con escaneo de haz. Además, se ha demostrado que se logra un incremento angular en caso de barrido donde la fuente de excitación es un *array* de elementos. También serían posibles otras operaciones como la reducción de RCS de antena y la protección de antena, pero no han sido objeto de este proyecto.

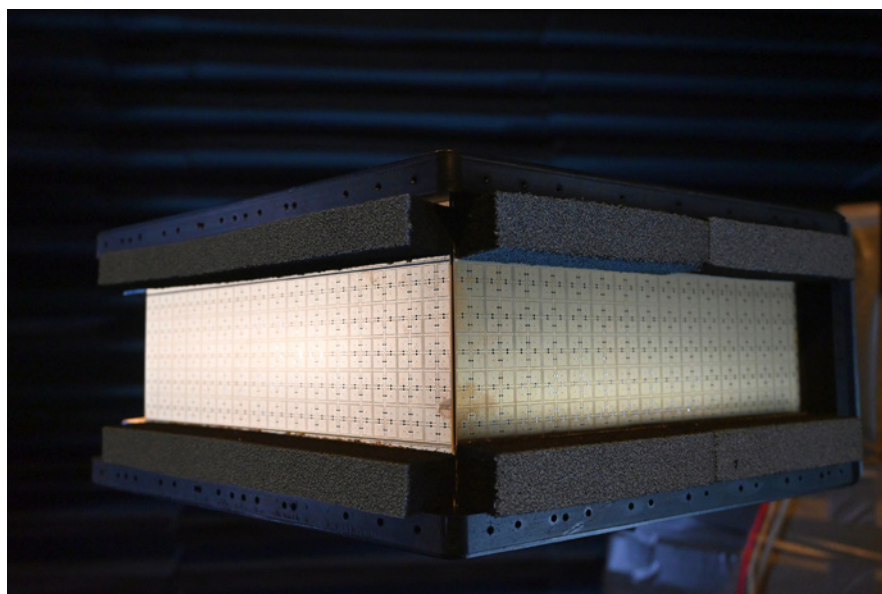


Figura 6. Detalle de una de las posibles configuraciones de *faceted metasurface* con antena conformada. (Fuente: Proyecto METALESA II).

La fig 7, muestra una comparación entre los patrones de radiación medidos en el conjunto compuesto por *array* conformado + metasuperficie, con y sin metasuperficie sintonizable para ángulos amplios en el plano azimutal, y con polarización horizontal. En estas mediciones, los elementos centrales del *array* se han utilizado para iluminar la *faceted metasurface*, que está optimizada en compensación y ángulo de barrido para ángulos de exploración amplios.

Se observa como resultado un ancho de haz estrecho (es decir, aumento de la directividad) en caso de utilizar la metasuperficie sintonizable en comparación con el ancho de haz de 3 dB de los patrones de radiación medidos sin la metasuperficie sintonizable. Además, se logra un aumento de más de 1 dB en la ganancia mediante el uso de la metasuperficie sintonizable en ángulos de exploración de 90° y 100°.

La combinación de una *phased array* antena y una metasuperficie sintonizable electrónicamente da como resultado una estructura con

una gran cantidad de grados de libertad que plantea un desafío para la calibración y el *beamforming*. Esta tarea es especialmente difícil debido a las propiedades de dispersión, de carácter inherentemente no lineal, que provoca la metasuperficie en el campo cercano del *phased array*.

Para superar este desafío, se ha desarrollado dentro del proyecto, un procedimiento novedoso de calibración y *beamforming* basado en la utilización de la técnica matemática de *back-projection* de los datos de medida de campo lejano (*far field*) sobre superficies de campo cercano de la antena. Se han logrado excelentes resultados con la ayuda de esta técnica. Sin embargo, se observa que es posible lograr resultados aún mejores combinando esta técnica con una optimización iterativa.

Conclusiones

En este proyecto, y para el caso de antenas AESA grandes, se ha observado que el apoyo al barrido de haz puede ser únicamente incremental. Por otro lado, se ha demostrado con

éxito que una metasuperficie de cambio de fase sintonizable por medio de varactores, y excitada por una sola antena o un pequeño *array* puede ofrecer un comportamiento de lente combinado con un escaneo de haz dinámico.

Esta mejora del rendimiento para un pequeño *array* o una antena individual puede ser de especial importancia en pequeñas plataformas, por ejemplo, en drones. De esta forma, se reducirían costes, peso y consumo de energía; además, los requisitos de espacio serían inferiores y la complejidad disminuiría.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Agencia Europea de Defensa (EDA) por el apoyo a este trabajo en el contexto del proyecto titulado *METAMATERIALS FOR ACTIVE ELECTRONICALLY SCANNED ARRAY*, SEGUNDA FASE (METALESA II) financiado por los Ministerios de Defensa de Alemania y España y coordinado por TAFCO *Metawireless* S.L. en el marco del Proyecto n.º B-1470-IAP1-GP de la Agencia Europea de Defensa.

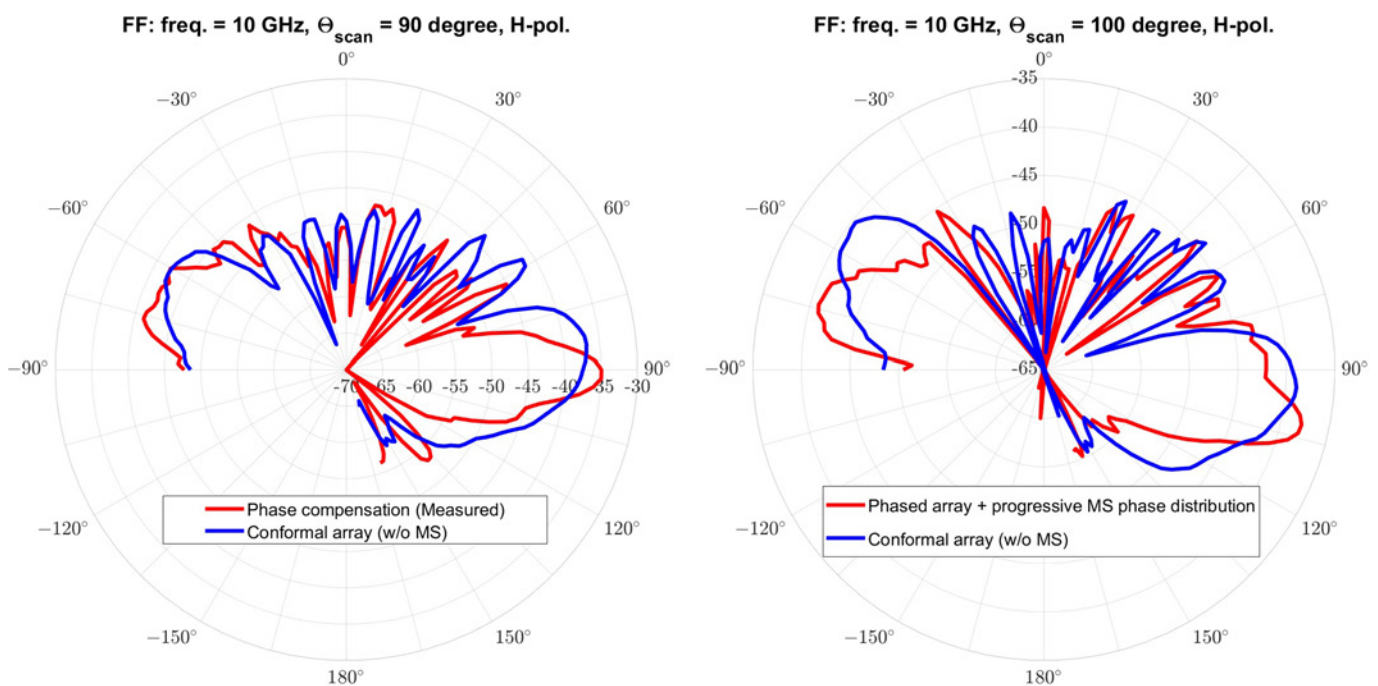


Figura 7. Comparativa de *faceted metasurface* con y sin metasuperficie. (Fuente. Proyecto METALESA II).

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/>



 **SOPT**
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

