

# EL RADAR PASIVO, LA CAPACIDAD DE DETECTAR SIN DEJAR RASTRO

Miguel Ángel PARDO GARCÍA



## Introducción



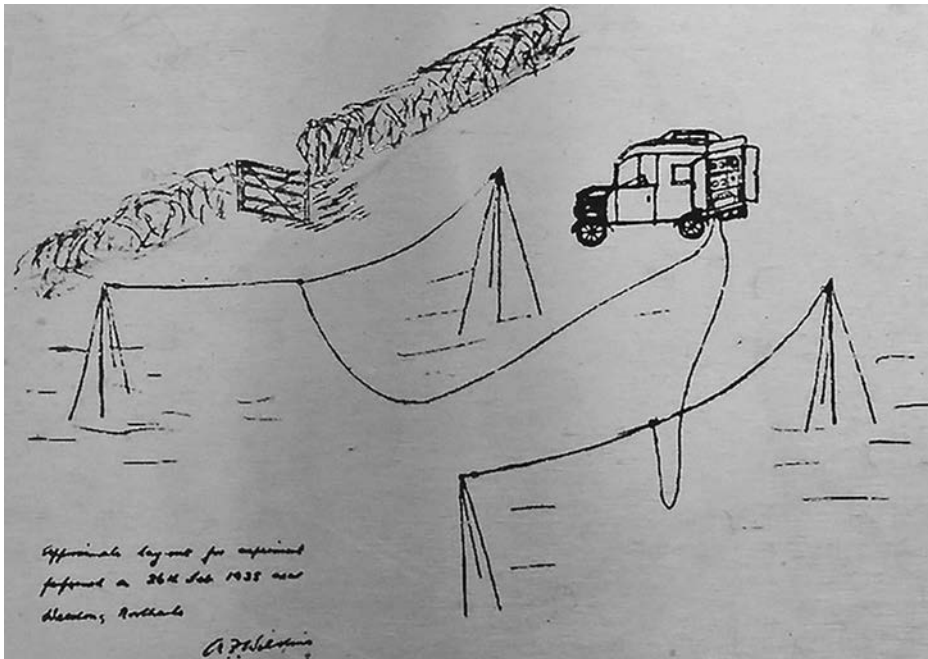
I les hablo sobre la existencia de un tipo de radar que permite detectar contactos sin que éstos se den cuenta de ello, podrán pensar que es algo imposible o que se trata de una tecnología muy remota. Nada más lejos de la realidad, ya que es cada día más usada y presenta múltiples ventajas frente a los radares activos que conocemos actualmente. En este artículo se darán unas breves pinceladas sobre sus orígenes, su funcionamiento y de cómo lo utilizan en otros países aliados, de forma que el lector podrá acercarse a una tecnología cada vez más palpable.

## Orígenes

Desde que los radares se comenzaron a desarrollar han sido muy utilizados en el ámbito militar, en el que a partir de ese momento el objetivo fue detectar al «enemigo» sin ser detectados. Con los primeros radares activos de principios del siglo XX, sólo se podía obtener la posición por triangulación. No obstante, con el paso del tiempo se descubriría la forma de detectar la demora en la que transmiten y se desarrollarían misiles que utilizan esa radiación como guía. Por ello, se pensó desde muy al principio en buscar la manera de tener información sin ser detectados, lo que comúnmente se conoce como *stealth*. Los orígenes de esta tecnología se remontan a 1935, cuando Robert Watson-Watt utilizó como transmisor la antena de la *BBC* en la ciudad de

Daventry para detectar un bombardero tipo *Heyford* a una distancia de ocho kilómetros. Destacar que el blanco era un avión de gran envergadura que volaba a baja cota y reducida velocidad. Dicho experimento se llevó a cabo a las afueras de la ciudad; el *Heyford* voló entre Daventry y el transmisor de la *BBC*. El detector consistió en un receptor de grandes dimensiones que se sintonizó en la misma frecuencia que la antena transmisora de la *BBC*. El avión hizo varias pasadas y, cada vez que cruzaba la línea formada por el receptor y el transmisor, se observaban en el osciloscopio unas fluctuaciones producidas por los rebotes de la señal en el bombardero. El seguimiento sobre el avión se mantuvo durante unas ocho millas.

A raíz del éxito de este experimento, la Fuerza Aérea británica, junto con Robert Watson-Watt, formó un equipo de investigación, que dio lugar a que se instalaran radares en toda la costa este y sur de Gran Bretaña. Sin embargo, se decantó por radares activos de gran potencia. Esto fue aprovechado por el alemán Klein Heidelberg, que en 1943 instaló receptores al otro lado del canal de la Mancha. De esta forma se pudieron detectar cazas británicos usando como transmisores los propios radares activos de los ingleses. Además, se dieron cuenta de que no se podían perturbar, a diferencia de otros



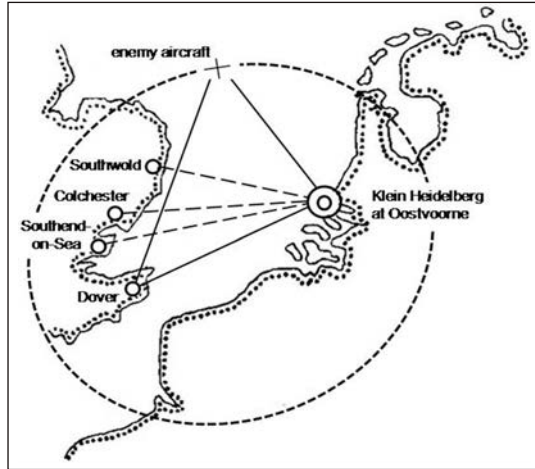
Esquema del experimento de Robert Watson-Watt. (Fuente: Kuschel, 2019)

que tenían los alemanes en la zona. Se convirtieron así en los primeros radares pasivos funcionales.

A partir de 1936 apareció el duplexor, dispositivo electrónico que permitía el uso de una antena para transmitir y recibir señal. Esta nueva tecnología llevó a tener radares activos monoestáticos más desarrollados y con mejores prestaciones y, por ende, a que el interés hacia los radares pasivos disminuyese. De esta forma, se perdió la idea de *stealth* y todo el campo de la tecnología radar se orientó a obtener una alta probabilidad de detección y a desarrollar contramedidas electrónicas (ECM) para evitar las perturbaciones de los sistemas.

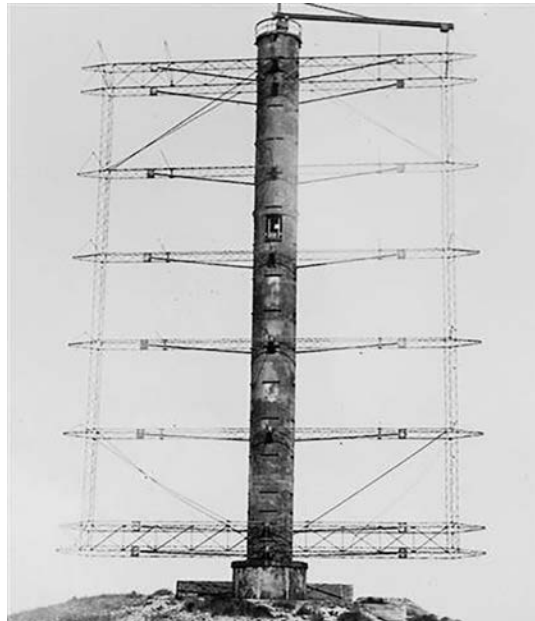
Tras la Segunda Guerra Mundial esta tecnología fue decayendo, sobre todo por la complejidad matemática de la distancia bistática de estos sistemas, que *a priori* no aportaban ninguna ventaja frente a sus competidores, los radares activos. A partir de ese momento, se producen tres resurgimientos de los radares bistáticos, que son la base del funcionamiento del radar pasivo y que se explicará más adelante.

El primero fue alrededor de 1957, con un sistema de detección temprana que se desarrolló en los Estados Unidos y se utilizó en el ámbito



Uno de los radares pasivos de los alemanes. La antena que instaló Heidelberg era muy rudimentaria y consistía en una torre de 40 metros; alrededor se montaban tres arrays de seis elementos, formando un total de 18 dipolos, dando como resultado un ancho de haz de 45 grados.

(Fuente: Griffiths & Baker)



Antena de Klein Heidelberg. (Fuente: Kuschel, 2019)

de la aeronáutica. Sin embargo, el mayor uso de radares biestáticos podría darse en el campo de la defensa aérea, ya que usan un iluminador que apunta al objetivo y el misil lleva un receptor que recibe la información. Esto se conoce como guía de onda semiactiva, tecnología usada por los misiles tipo SM-1.

El segundo resurgimiento se llevó a cabo con radares biestáticos de bajo coste y centrados en medir superficies planetarias y lunares; comenzó en 1967 y se mantuvo durante 40 años. Durante este tiempo también se realizaron varios proyectos biestáticos para combatir la perturbación y a los misiles anti-radiación. Aunque muchos de ellos fueron exitosos, ninguno llegó a desarrollarse por el simple hecho de que había soluciones más baratas y sencillas.

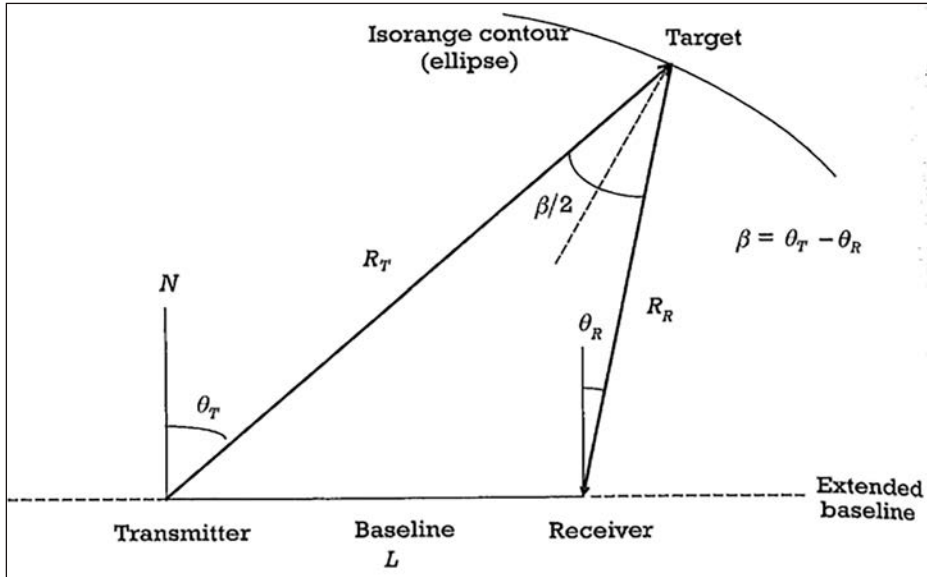
El tercero exploró la tecnología biestática mucho más allá que sus predecesores. Tecnológicamente, avanzó mucho más y comenzó a utilizar transmisores comerciales, abaratando el coste de estos equipos. A mediados de 1990 destacaron dos radares de este tipo: el Manastash Ridge Radar, desarrollado por la Universidad de Washington y que utilizaba antenas FM como iluminadores para estudiar las turbulencias de la ionosfera, y el Struna-I ruso, que detectaba aviones a baja cota.

A finales de 1990 y principios de los 2000, la empresa estadounidense Lockheed Martin ideó un radar pasivo que llamó Silent Sentry, basado en el uso de antenas FM como iluminadores, al igual que el Manastash Ridge Radar, pero que a diferencia de éste se empleó para detectar y seguir múltiples blancos aéreos, lo que marcó un antes y un después en esta tecnología. A partir de ahí, varias empresas han invertido en dicho campo.

## **Fundamentos y funcionamiento**

Un radar pasivo funciona de la siguiente forma: lo primero es encontrar un transmisor comercial. Éstos se conocen como iluminadores de oportunidad (IO) y hay un amplio abanico que se puede explorar; seguidamente, es necesario tener receptores que obtengan el rebote de la señal del transmisor en el blanco.

En el campo del radar, los más conocidos son los radares activos monoestáticos; esto quiere decir que el transmisor y el receptor están en el mismo punto. Sin embargo, al hablar del radar pasivo, por fuerza usa la tecnología biestática, que consiste en que tanto el receptor como el transmisor estén separados una cierta distancia. Es por ello que siempre se habla de radar pasivo biestático, capaz de utilizar varios transmisores y varios receptores. Lo que hace este radar para detectar blancos es comparar dos distancias: la primera viene definida por la formada entre el transmisor y el receptor, y la segunda por la que hay desde el transmisor hasta el blanco y, al rebotar en éste, hasta el receptor. En la siguiente figura se pueden apreciar ambas distancias.



Geometría del radar pasivo biestático. (Fuente: Brown, 2013)

A partir de estos datos, se pueden definir la distancia entre el transmisor, el blanco y el receptor como  $R_B$ , y la distancia entre el transmisor y el receptor como  $L$ . La  $R_B$  se obtiene sumando las distancias entre el transmisor-blanco ( $R_T$ ) y el receptor-blanco ( $R_R$ ).

$$R_B = R_T + R_R$$

Una de las complejidades de estos sistemas se plantea a la hora de obtener la distancia  $R_B$  y, posteriormente, realizar una correlación cruzada con  $L$ . De forma sencilla, y sin ahondar mucho en la resolución matemática, para calcular la distancia biestática  $R_B$  es necesario conocer la localización del IO y, junto a la localización del receptor, se obtiene un elipsoide. A partir de dicho elipsoide y con la fórmula de resolución radar se obtiene la distancia biestática para un ángulo.

Finalmente, todo esto se traduce en una modificación a la clásica fórmula de alcance máximo radar, que quedaría de la siguiente forma:

$$(R_T R_R)_{AR} = \sqrt{\frac{P_T G_T G_R \lambda^2 \sigma_B F_T^2 F_R^2}{(4\pi)^3 K T_s B_n (S/N)_{min} L_T L_R}}$$

donde

- $P_T$  es la potencia del transmisor, en este caso se corresponde con la del IO.
- $G_T$  y  $G_R$  son las ganancias de la antena transmisora y receptora, respectivamente.
- $\lambda$  es la longitud de onda.
- $\sigma_B$  es la sección recta del radar biestático.
- $F_T^B$  y  $F_R$  son los factores de propagación transmisor-blanco y blanco-receptor.
- $K$  es la constante de Boltzmann.
- $T_s$  y  $G_R$  es la temperatura del ruido del sistema receptor.
- $B_s$  es el ancho de banda de ruido.
- $(S/N)_{min}$  es la relación de potencia de señal a ruido mínima requerida por el sistema para cumplir los requisitos de detección.
- $L_T$  y  $L_R$  son las pérdidas que se pueden encontrar en el transmisor y el receptor.

Destacar que en dichos sistemas, al tener que observar un contacto cuya posición varía a lo largo del tiempo, es necesario comparar las diferentes señales obtenidas en ese margen de tiempo mediante una correlación cruzada Doppler, de tal forma que se pueda analizar el movimiento y obtener la velocidad del contacto en cuestión.

### *Iluminadores de oportunidad (IO)*

Los IO es lo que caracteriza estos radares, ya que sin ellos sería imposible que fuese un sistema de detección pasiva. Son los transmisores propiamente dichos y es de vital importancia saber cuáles elegir, ya que determinan el alcance y la potencia del sistema. Los más usados son los siguientes:

- Señal FM radio.
- Retransmisión digital de audio (DAB).
- Señal de televisión analógica.
- Retransmisión digital de vídeo (DVB).
- Estaciones de telefonía móvil.

Los primeros iluminadores de transmisión que se utilizaron fueron las emisiones de la radio analógica comercial en FM; sin embargo, se descubrió que en función del contenido que transmitía la emisora (voz, música, etc.) se conseguían unas prestaciones mejores o peores. Esto se debía a que, al ser una modulación analógica, el ancho de banda dependía del contenido emitido y



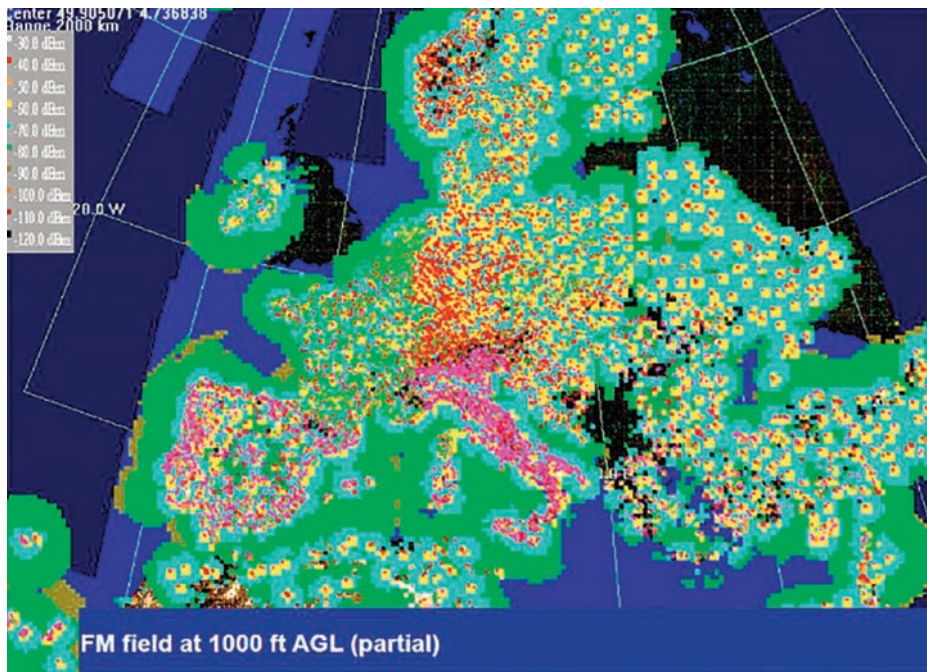
por tanto las características del radar pasivo variaban. A continuación, veremos cada tipo de iluminador y sus prestaciones:

- *Radio FM comercial.* Este tipo de iluminador utiliza la banda de VHF con transmisores situados en terrenos elevados y altas torres. Presenta las siguientes características:

Densidad de potencia	Frecuencia	Ancho de banda	Resolución
-54dBW/100 km	88-108 MHz	100 KHz	1500 m

Características principales de la radio FM

El alcance del radar pasivo depende en gran medida de la localización del transmisor; no obstante, hay gran cantidad de ellos, como se aprecia en la imagen siguiente.



Localización de antenas FM en Europa. (Fuente: Castillo, 2015)

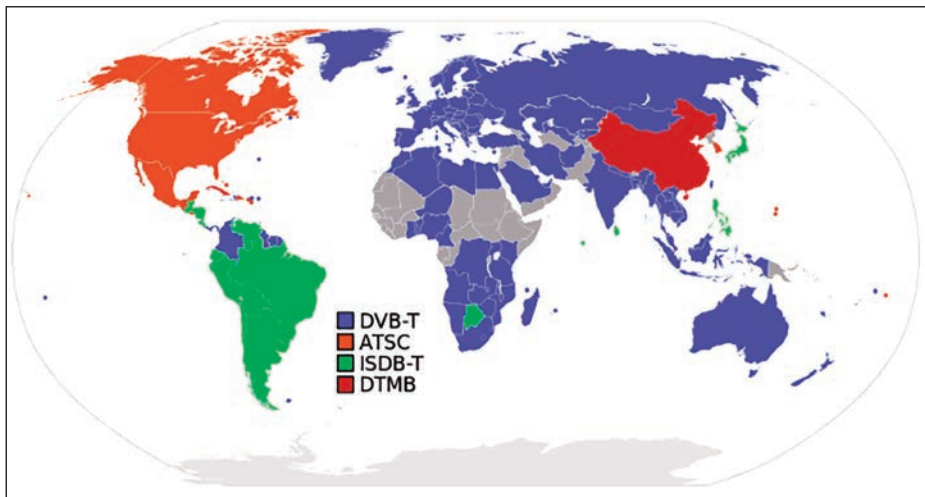
Debido a su reducido ancho de banda y a su variabilidad, con el tiempo da una peor resolución. Añadir que en función del contenido transmitido se consiguen unos resultados u otros.

- *Retransmisión digital de audio (DAB)*. Se trata del sustituto de la radio analógica y ofrece mejores características que la radio FM; es una señal mucho más fácil de procesar y permite diferenciar mejor las velocidades de los diferentes contactos. Sin embargo, al tener una baja densidad de potencia, su alcance máximo se ve reducido. A continuación se muestra la tabla con las características de la señal:

Densidad de potencia	Frecuencia	Ancho de banda	Resolución
-71dBW/200 km	Banda III 174-240 MHz Banda L 1452-1492 MHz	1537 KHz	97,6 m

Características de la señal DAB

- *Señal de televisión analógica*. Se trata de antenas que operan con UHF entre 500 y 600 MHz; tienen buenas prestaciones, pero están siendo sustituidas por los sistemas de televisión digital. No obstante, algunos países mantienen ambas tecnologías. La resolución de estos sistemas es de unos 30 metros.



Cobertura de señal de televisión digital. (Fuente: Castillo, 2015)



- *Señal de televisión digital.* Debido a su mejora en la calidad de imagen con respecto a los de señal analógica, son los que mayor cantidad de IO presentan globalmente. Tienen diferentes tipos de transmisión; sin embargo, ofrecen una resolución parecida, 25 metros, y todos presentan un gran ancho de banda, dando lugar a mejores prestaciones del sistema.

Como se aprecia en la figura de la página anterior, hay gran cantidad de transmisores repartidos por todo el mundo, lo que hace que sean ideales para usar como IO en los sistemas de radar pasivo.

- *Estaciones de telefonía móvil.* A día de hoy no se ha explotado mucho la tecnología 4G y 5G en su uso como transmisor de oportunidad, ya que las prestaciones no presentan unas ventajas superiores al resto de iluminadores.

### Sistemas modernos de radar pasivo

En este capítulo se mostrarán los sistemas más punteros desarrollados por diferentes empresas. Una de las primeras fue Lockheed Martin con su Silent Sentry 2. Destacar que este sistema utilizó las retransmisiones de FM y de TV, tanto analógicas como digitales, como IO, obteniendo una detección con gran precisión mientras mantenía la capacidad de seguir hasta 100 blancos a una distancia entre 220 y 280 km. También tenía la capacidad de seguir aeronaves, misiles, barcos y blancos de superficie con una precisión de 250 m en la componente horizontal y 1.000 m en la vertical y a una velocidad de dos metros/segundo. El sistema ya no se exhibe y todas las referencias han sido



Homeland Alerter 100.  
(Fuente: Conti & Capria)



Ground Alerter 10.  
(Fuente: *Terre Information Magazine*)

tar piezas y equipos de artillería a una distancia de 10 km. Actualmente, el Ejército francés se encuentra probando este equipo. En la siguiente figura se muestra cómo es su montaje:

En ámbito nacional destaca Indra, que en 2013 desarrolló un sofisticado sistema de radar pasivo. Sobresale su alta resolución que, junto a la avanzada inteligencia artificial de la que ha sido dotado, lo convierte en uno de los radares pasivos más avanzados a nivel internacional.

Israel Aerospace Industries (IAI) diseñó un radar pasivo que utiliza Israel en sus fronteras para detectar aviones que en múltiples ocasiones son indetectables con otros tipos de radares. También destaca su movilidad y la ventaja que ofrece de desplegar en cualquier localización.

Actualmente, se está impulsando el radar pasivo para la detección de blancos aéreos y control de tráfico. Airbus está desarrollando una serie de radares pasivos para la aviación civil británica que, además de ser económicos, no se ven afectados por interferencias de otros equipos y eliminan el problema de los reflejos engañosos del vídeo crudo.

Destacar también a la empresa italiana Leonardo —conocida en la Armada por sus montajes Oto Melara de las FFG clase *Santa María*— con su sistema

eliminadas de la página web de la empresa.

Más adelante, en torno a 2005, Thales Air Systems presentó un radar pasivo que bautizó con el nombre de Homeland Alerter 100, cuyo fin era proteger unidades y objetivos valiosos a baja y media cota; como IO eligieron antenas transmisoras de FM y de TV, obteniendo unas prestaciones en alcance de 100 km y en altura de 2.000 pies. En 2007, Noruega adquirió una actualización de este sistema, y en 2010 el Ejército del Aire francés lo utilizó el 14 de julio para dar seguridad aérea en la celebración de su fiesta nacional.

La misma empresa también ha desarrollado otro radar pasivo llamado Ground Alerter 10, destinado a detectar



Radar pasivo de Indra. (Fuente: Vives & Álvarez)

Aulos, diseñado para la vigilancia marítima y que es capaz de detectar tanto contactos aéreos como blancos de superficie marítimos. Ha sido probado en cantidad de entornos y escenarios, sobre todo en la vigilancia costera por su eficacia en entornos abruptos y escarpados.

En estos momentos, existe un proyecto propuesto por GNSS (Global Navigation Satellite System) para realizar un radar pasivo de vigilancia marítima utilizando el sistema satelital Galileo, que reviste un gran atractivo por su bajo coste y por sus prestaciones en cuanto a alcance. Esta idea se encuentra muy en sus inicios, ya que todavía se tiene que montar el sistema y llevar a cabo las pruebas pertinentes, pero destaca por el siguiente concepto: de las dos antenas receptoras, una se encontraría en una estación fija en tierra y la otra sería un vehículo aéreo no tripulado (UAV) móvil. De esta forma, se consigue no sólo vigilar la costa, sino también contactos en alta mar.

Todos los radares pasivos hasta el momento se han diseñado siempre con emplazamientos en tierra, y en el ámbito marítimo como mucho permitían una vigilancia costera, ya que hace falta utilizar un IO y la mayoría de esos transmisores se encuentran instalados en tierra. Es cierto que se han usado en otras ocasiones satélites como IO porque al trasladarlos a alta mar la solución del sistema se complica por el hecho de tener un receptor móvil. Por ello, GNSS ha propuesto usar dos receptores fijos para tener la distancia definida y, posteriormente, el UAV para aumentar el campo de visión del sistema.

## Conclusiones



Radar pasivo de IAI. (Fuente: Cohen, 2020)



Radar pasivo Aulos. (Fuente: Leonardo)

Como han podido ver, el radar pasivo es un sistema poco conocido pero en auge, ya que cada vez hay más empresas interesadas en este tipo de tecnología. En el ámbito militar, el Ministerio de Defensa francés ya ha invertido en estos sistemas, como ha demostrado con el Ground Alerter 10, que ha sido el escogido por su homólogo italiano para monitorizar sus costas.

Cada vez se están promoviendo más estos radares, pues tienen ventajas notables en cuanto a coste y a su poder de detectar sin dejar rastro. Estos sistemas tienen la capacidad de obtener información sin que el objetivo del que se extrae ésta tenga conocimiento de ello, convirtiéndolos en una tecnología muy interesante para las operaciones militares. Además, no son vulnerables a las perturbaciones y, si el transmisor que utilizan se ve perjudicado, simplemente aprovechan otro que se encuentre en las inmediaciones.

También destacar la facilidad que tienen de desplegar en cualquier escenario y su gran movilidad. Aunque sólo se están utilizando en escenarios terrestres o de vigilancia costera, poco a poco se está buscando la forma de trasladarlos a los buques para

aprovechar sus ventajas en el entorno marítimo. El radar pasivo es una tecnología que ofrece grandes ventajas con respecto a los radares activos comúnmente conocidos, por lo que cada vez más empresas apuestan por él. En el ámbito militar, ofrece unas prestaciones muy superiores y sería capaz de cambiar la guerra electrónica como se conoce hoy en día, por lo que se ha convertido en un radar digno de estudio y seguimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- PEÑA QUEZADA, O. V.; GÓMEZ DEL HOYO, P. J.: *Optimización de la etapa de pre-procesado de la señal GPS en sistemas radar pasivos*. Universidad de Alcalá. Escuela Politécnica Superior, 2019.
- KUSCHEL, H.: *Passive Coherent Locator History and Fundamentals*, pp. 1-12, 2017. <https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Educational%20Notes/Forms/Document%20Set%20View.aspx>.
- HENSOLDT: *Passive Radar To see without being seen No own transmitter, only receiver*, p. 2. [https://www.hensoldt.net/fileadmin/HENSOLDT\\_2019/Products/Radar\\_IFF\\_Datalink/0570\\_18\\_TwInvis\\_Passive\\_Radar\\_datasheet\\_E\\_preview.pdf](https://www.hensoldt.net/fileadmin/HENSOLDT_2019/Products/Radar_IFF_Datalink/0570_18_TwInvis_Passive_Radar_datasheet_E_preview.pdf)
- CONTI, M.; MARTORELLA, M.; CAPRIA, A.: *Feasibility study and development of a full digital passive radar demonstrator*. Universidad de Pisa.
- Délégation à l'Information et à la Communication de la Défense. *Terre Information Magazine*, 254, p. 36-37, 2014. <http://fr.1001mags.com/parution/terre-information-magazine/numero-254-mai-2014/page-36-37-texte-integral>
- VIVES, C.; ÁLVAREZ J.: *Array Passive ISAR Adaptive Processing*. Jornada de presentación de resultados y demostración, 2013.
- COHEN, C.: «Nuevo radar pasivo de Israel», 2020. <https://www.israeleconomico.com/defensa/un-nuevo-radar-pasivo-israeli-para-detectar-aviones-invisibles/> (acceso 13 de febrero 2021).
- LEONARDO: *Land & naval radars. Catalog*, p. 5. [https://electronics.leonardo.com/documents/16277707/18388480/body\\_Land\\_Naval\\_Radars\\_LQ\\_mm08027\\_.pdf?t=1542836436655](https://electronics.leonardo.com/documents/16277707/18388480/body_Land_Naval_Radars_LQ_mm08027_.pdf?t=1542836436655)
- IEEE SA Standards Association: *IEEE Standard for Radar Definitions*, 2017. <https://standards.ieee.org/ieee/686/6129/>
- FELL, B.: «Basic radar concepts: an introduction to radar for optical engineers». *Proceedings*, 1977.
- BROWN, J. W. A.: «FM Airborne Passive Radar». University College London, abril, 2013.
- GRIFITHS, H. D.; BAKER, C. J.: *An introduction to passive radar*. Artech House, 2017.
- CASTILLO, S. A. S.: *Study of state of the art of passive radar*. Universidad Politécnica de Madrid, 2015.
- MARTORELLA, M.; BERIZZI, F.: *PCL Detection Fundamentals*, pp. 1-19. Universidad de Pisa.
- SÉNICA, A. L.: «Detecção de Alvos em Sistemas de Radares Passivos». Escola Naval, Portugal, 2020.
- MUÑOZ-FERRERAS, J.-M.; GÓMEZ-GARCÍA, R.; LI, C.: «Human-aware localization using linear-frequencymodulated continuous-wave radars». Universidad de Alcalá. Texas Tech University, 2017.



- LOMBARDO, P.; COLONE, F.: «Advanced Processing Methods for Passive Bistatic Radar Systems». *Principles of Modern Radar*, Scitech Publishing, 2013.
- PETRI, D.; MOSCARDINI, C.; MARTORELLA, M.; CONTI, M.; CAPRIA, A.; BERIZZI, F.: «Performance analysis of the batches algorithm for Range-Doppler map formation in passive bistatic radar». *IET Conf. Publ.*, vol. 2012, n.º 603 CP, pp. 1-4, 2012, doi: 10.1049/cp.2012.1570, [https://www.researchgate.net/publication/261074069\\_Performance\\_analysis\\_of\\_the\\_batches\\_algorithm\\_for\\_range-Doppler\\_map\\_formation\\_in\\_Passive\\_Bistatic\\_Radar](https://www.researchgate.net/publication/261074069_Performance_analysis_of_the_batches_algorithm_for_range-Doppler_map_formation_in_Passive_Bistatic_Radar)
- NUNDU, A.: *Direct Path Interference Suppression and Received Signal Processing for OFDM Passive Radar*. Air Force Institute of Technology, marzo 2019.
- PETÓ, T.; SELLER, R.: «Adaptive Clutter Cancellation Techniques for Passive Radars». *Topics in Radar Signal Processing*, 2018, doi: 10.5772/intechopen.71289
- RODRÍGUEZ DE HARO, J. R.: *Análisis software y hardware del SDR HackRF One*. Universidad de Granada.
- BARTOLUCCI; DEL PERAL-ROSADO; ESTAUET-CASTILLO; GARCÍA-MOLINA; CRISCI; CORAZZA: «Synchronisation of low-cost open source SDRs for navigation applications», 2017, doi: 10.1109/navitec.2016.7849328
- OSSMANN, M.: «Hardware (CPLD-based) synchronisation of multiple HackRFs». *Blog*, <https://github.com/mossmann/hackrf/pull/381> (acceso 22 de febrero, 2021).
- «HackRF One schematic». <https://github.com/mossmann/hackrf/blob/master/doc/hardware/hackrf-one-schematic.pdf> (acceso 8 de marzo 2021).
- «HackRF One ports expansion». *HackRF-One expansion-interface*, 2020. <https://github.com/mossmann/hackrf/wiki/HackRF-One#expansion-interface> (acceso 8 de marzo 2021).
- «Hackrf\_transfer.c». *Hack\_transfer code*, 2020. [https://github.com/mossmann/hackrf/blob/master/host/hackrf-tools/src/hackrf\\_transfer.c](https://github.com/mossmann/hackrf/blob/master/host/hackrf-tools/src/hackrf_transfer.c) (acceso 18 de enero 2021).
- MATZNER, M.; LEVY, S.: «Basic RF Technic and Laboratory Manual. Attenuators», agosto 2008, [http://www.hit.ac.il/upload/engineering/Experiment\\_8\\_-\\_Attenuator.pdf](http://www.hit.ac.il/upload/engineering/Experiment_8_-_Attenuator.pdf).
- PEÑA, C. L.: «Vulnerabilidades usando SDR». Universidad de Málaga, 2014.
- GURJAO, E. C.: «Introducao ao GNU Radio». *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação* 3(1), p. 5, 2013.
- PELLEGRINI, V.; BACCI, G.; LUISE, M.: «SOFT-DVB: A fully-software GNUradio-based ETSI DVB-T modulator», 5.<sup>th</sup> Karlsruhe Workshop on Software Radios, vol. 2, 2008, [http://www.tvlivre.org/sites/tvlivre/files/PellegriniBacciLuise\\_WSR08\\_CR.pdf](http://www.tvlivre.org/sites/tvlivre/files/PellegriniBacciLuise_WSR08_CR.pdf)
- RYAN, M. J.: *Low Cost Passive Radar Through Software Defined Radio*. Southern Queensland, 2016.
- LEKKAS, D.: «MarineTraffic», 2007, <https://www.marinetraffic.com> (acceso 11 de febrero 2021).
- CAPRIA; CONTI; PETRI: «Ship detection with DVB-T software defined passive radar». *IEEE Gold Remote Sens. Conf.*, n.º 1, pp. 3-5, 2010, [http://iee.uniparthenope.it/chapter/\\_private/proc10/6.pdf](http://iee.uniparthenope.it/chapter/_private/proc10/6.pdf)
- O'HAGAN, D. W., et al.: «Passive Bistatic Radar (PBR) for harbour protection applications». *IEEE Radar Conference*, pp. 0446-0450, 2012, doi: 10.1109/RADAR.2012.6212182
- ZEMMARI; DAUN; NICKEL: «Maritime surveillance using GSM passive radar». 13.<sup>th</sup> International Radar Symposium, pp. 76–82, 2012, doi: 10.1109/IRS.2012.6233293
- HE; YANG; CHEN: «A Hybrid Integration Method for Moving Target Detection with GNSS-Based Passive Radar». *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 14, pp. 1.184-1.193, 2021, doi: 10.1109/JSTARS.2020.3037200