

Abriendo la “caja negra” del radar. Las políticas de radarización para uso civil y de defensa en Argentina entre 1948 y 2004

Opening the “Black Box” of Radar. Radarization Policies for Civil and Defense Use in Argentina between 1948 and 2004

Juan Martín Quirogaⁱ
jquiroga@unrn.edu.ar

Diego Aguiarⁱⁱ
daguiar@unrn.edu.ar

Resumen

Este artículo constituye una primera contribución al análisis de la radarización de la Argentina desde la perspectiva de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología y el análisis de políticas públicas. Por tratarse del primer trabajo que analiza el desarrollo de radares en Argentina desde esta perspectiva, el artículo comienza con una breve reseña de la historia del artefacto para luego pasar a analizar la historia de la radarización en Argentina, enfatizando el rol de la Fuerza Aérea Argentina, primero, y luego de INVAP, en el desarrollo nacional de esta tecnología.

Palabras clave: HISTORIA DE LA TECNOLOGÍA; CONSTRUCTIVISMO SOCIAL DE LA TECNOLOGÍA; HISTORIA DEL RADAR.

Abstract

This article constitutes a first contribution to the analysis of Argentinian radarization from a perspective based on the social studies of science and technology, as well as from the analysis of public policies. Since this is the first work that analyses the development of radars in Argentina from this perspective, the article begins with a short review of the history of radar, then the Argentinian radarization is analyzed, with special regard to the role played by the Argentinian Air Force, initially, and afterwards by INVAP, in the development of this technology in the country.

Keywords: HISTORY OF TECHNOLOGY; SOCIAL CONSTRUCTIVISM OF TECHNOLOGY; RADAR HISTORY.

Recibido: 8 de abril de 2016.

Aprobado: 4 de octubre de 2016.

ⁱ Profesor Adjunto Regular, Universidad Nacional de Río Negro (UNRN), Centro de Estudios en Ciencia, Tecnología, Cultura y Desarrollo (CITECDE).

ⁱⁱ Profesor Asociado Regular, Universidad Nacional de Río Negro (UNRN), Centro de Estudios en Ciencia, Tecnología, Cultura y Desarrollo (CITECDE); Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

El presente trabajo forma parte de una Tesis de Maestría en Ciencia, Tecnología e Innovación (UNRN) y se enmarca dentro del proyecto de investigación “Análisis de las políticas públicas de ciencia y tecnología en Argentina (1983-2010). Una contribución al estudio del proceso social multi-actoral de construcción del problema, formulación, toma de decisión, implementación y evaluación de las políticas estatales”, Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica Orientados (PICTO – 2010) de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT). Universidad Nacional de Río Negro. Director: Dr. Diego Aguiar. Este trabajo, fue además posible gracias a la Ayuda Económica de Finalización de Maestría en Ciencia, Tecnología e Innovación del Programa de Formación de Recursos Humanos en Política y Gestión de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (Resolución MINCyT 281/14), del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación (MINCYT).

Introducción

El presente artículo realiza un estudio preliminar cuyo objetivo es analizar la historia de la radarización de Argentina desde 1948 hasta el 2004 desde una perspectiva que integre elementos sociales y tecnológicos en la explicación, evitando así tanto el determinismo tecnológico como el social. Cabe aclarar que su objeto de estudio, no ha sido abordado previamente en nuestro país, al menos desde un marco teórico socio-técnico que integre la sociedad y la tecnología en las explicaciones.¹

Por lo tanto, el artículo tiene el doble objetivo de, por un lado, presentar de manera preliminar desde las ciencias sociales los procesos y hechos centrales de una historia socio-técnica de la radarización de Argentina, y por otro lado, mostrar la conformación tecnológica de la sociedad y la conformación social de la tecnología a partir del análisis de un tipo de artefacto, el radar, el cual ha tomado creciente importancia desde mediados del siglo XX, porque ha sido una tecnología determinante en la configuración del mundo actual, tanto en el ámbito de la defensa como en el civil -al permitir que la actividad aerocomercial cobrara un fuerte impulso al facilitar la navegación aérea-.

Los estudios sociales de la tecnología, teniendo en cuenta la perspectiva analítica con la que abordan la relación tecnología/sociedad, pueden clasificarse esquemáticamente de la siguiente manera: i) los que estudian la influencia de la tecnología sobre la sociedad, y ii) los que estudian la influencia de la sociedad sobre la tecnología.² Esa dicotomía entre dos tipos de abordajes puede plantearse en otros términos, como la tensión entre dos líneas mono-causales deterministas:

- Causalidad tecnológica: los cambios tecnológicos determinan cambios sociales.
- Causalidad social: los cambios tecnológicos son explicados mediante causas sociales.

La primacía de cada una de estas dos causalidades da origen a la rivalidad entre dos visiones opuestas en las ciencias sociales: el “determinismo tecnológico” versus el “determinismo social”.

En el caso del determinismo tecnológico, básicamente se considera que el desarrollo tecnológico condiciona más que cualquier otro aspecto el cambio y la estructura sociales. En otros términos, las innovaciones tecnológicas a lo largo de la historia han afectado, según este punto de vista, todos los ámbitos sociales: la cultura, la economía, la política, etcétera.³ Ejemplos de este abordaje son los estudios sobre el impacto social de la tecnología, o los estudios históricos internalistas de la tecnología.⁴

¹ Cabe mencionarse que existe un libro sobre la “especialidad radar” en la Fuerza Aérea Argentina, escrito por el Comodoro (RE) González, que aborda el tema desde una perspectiva de historia internalista. Véase González (2014).

² Álvarez *et al.* (1993).

³ Véase por ejemplo White (1965), en especial el cap. 13.

⁴ Como ejemplo de perspectivas que proponen modelos causales para analizar el impacto social de los artefactos véase por ejemplo Ogburn y Nimkoff (1961); como ejemplo de perspectivas internalistas de la tecnología véase por ejemplo Singer y Williams (1954); Daumas (1962-1968).

En cambio, en el caso del determinismo social, se suprime cualquier grado de autonomía que pueda tener el desarrollo tecnológico; por el contrario, este es un proceso dirigido socialmente. La configuración del cambio tecnológico surge de la interrelación de los distintos grupos que conforman la sociedad. Es el quehacer social producto de la acción social el que motiva y orienta el futuro de la tecnología. Desde este enfoque se plantea la siguiente pregunta: “¿Qué ha causado y causa el cambio tecnológico cuyo ‘impacto’ experimentamos?”⁵ Si se enfoca la cuestión de cómo la sociedad conforma la tecnología, entonces la tecnología deja de ser un factor independiente, para convertirse en un factor constituido por la sociedad. Los estudios de caso, producto de esta perspectiva, plantean que el cambio tecnológico es conformado por fuerzas sociales muy heterogéneas. Ejemplos de este tipo de enfoque son los estudios sociales de los inventos, algunos estudios de género de la tecnología, la denominada historia contextual, etcétera.⁶

Aquí se afirmará que sostener *a priori* cualquiera de estos dos abordajes deterministas implica no atender a la complejidad de las relaciones entre el cambio social y el cambio tecnológico. El enfoque que se utiliza en esta investigación, en línea con los abordajes socio-técnicos desarrollados durante las décadas de 1980 y 1990, que integran en un mismo nivel “ingredientes” tecnológicos y sociales, no postula *ex-ante* una relación mono-causal determinista y contribuye a abrir la “caja negra” de la tecnología, para dar cuenta así del carácter tecnológico del cambio social y del carácter social del cambio tecnológico.⁷

El caso elegido para analizar esa tensión entre el determinismo tecnológico y el social es el de las políticas de radarización en Argentina. Cabe aclarar que en junio del 2009 se produjo un hito tecnológico en nuestro país que tuvo poca repercusión en los medios de prensa y que no ha sido explicado aún desde las ciencias sociales. En esa fecha ocurrió “la detección y representación del eco de una aeronave mediante un radar diseñado y producido íntegramente en la Argentina [por la empresa INVAP]”.⁸ Ese hecho significó para la Argentina el ingreso al pequeño grupo de países que dominan el diseño y desarrollo de sistemas de radares propios. Un hecho anterior, que también ha pasado desapercibido por las ciencias sociales es que en 1948 Argentina fue el primer país de Sud América que contó con radares (importados) para control del espacio aéreo.⁹ Este artículo, justamente, intenta explicar el cambio de una política de importación hacia una de sustitución de importaciones en ese tipo de tecnología, proceso que demandó cinco décadas.

⁵ MacKenzie y Wajcman (1985), p. 2.

⁶ Como ejemplo de historia contextual véase la propuesta de Staudenmaier (1996); como ejemplo de perspectiva feminista del cambio tecnológico véase Williams (1996).

⁷ A partir de la década de 1980 se han planteado tres abordajes teóricos que intentan superar ambos determinismos: “grandes sistemas tecnológicos”, Hughes (1987); “actor-red”, Callon (1986) y “constructivismo social de la tecnología”, Bijker (1995).

“El término ‘caja negra’ en el lenguaje técnico y de la ciencia social es un sistema o dispositivo que, por conveniencia, se describe sólo en términos de sus insumos y sus exumos. No se necesita saber nada de lo que ocurre dentro de esas cajas negras. Uno simplemente las pone entre paréntesis como instrumentos que realizan ciertas funciones valiosas.” Winner (1993), p. 367.

⁸ Ministerio de Defensa (2010); p. 299.

⁹ El “control del espacio aéreo”, hace referencia al control orientado a detectar vuelos no identificados, no cooperativos o ilegales que se producen en un territorio determinado. Asimismo, en caso de conflicto bélico se utiliza a fin de apoyar operaciones de ataque y defensa. En cambio, el “control del tránsito aéreo” se refiere a las actividades de apoyo a la aviación civil que buscan brindar seguridad y eficiencia en los vuelos civiles.

Se destaca que no se han encontrado trabajos desde las ciencias sociales que analicen las políticas de radarización en Argentina. Si bien existen investigaciones previas desde los estudios sociales de la ciencia y la tecnología que analizan la trayectoria de INVAP, sin embargo, en ninguna de ellas se contemplan las implicaciones que ha tenido el desarrollo de radares en dicha empresa, ni tampoco se ha analizado su relación con la Fuerza Aérea Argentina (FAA) para el desarrollo de dicha tecnología. Quizás la falta de interés en los procesos de radarización se deba justamente a que hasta la década de 2000 -cuando se decide el desarrollo y fabricación íntegramente nacional-, el Estado argentino solo se había limitado a importar radares -sin embargo, como veremos, esa actividad permitió acumular ciertas capacidades en la FAA-. El análisis de las políticas de radarización tiene gran importancia a nivel social, en primer lugar, por sus implicaciones en el nivel del manejo y dominio de una tecnología que es desarrollada por muy pocos países en el mundo. En segundo lugar, porque las características particulares de la radarización de un país tienen consecuencias tanto en el control del espacio aéreo en las políticas de defensa como así también en la seguridad de los vuelos comerciales.

En la primera sección del artículo y a raíz de la falta de estudios sobre este artefacto desde la perspectiva mencionada, particularmente en la literatura en castellano, se comienza haciéndose un brevísimo *racconto*, con el objeto de introducir al lector en la historia de los primeros desarrollos y las diversas perspectivas que sobre el radar tuvieron los principales países contendientes de la II Guerra Mundial (IIGM). Se considera que esta sección, es un insumo importante para comprender, a grandes rasgos, los primeros desarrollos de la historia de la tecnología radar, y cómo se articula la compra nacional de dicha tecnología en un contexto internacional que le da origen. Luego se realiza un análisis de las políticas de radarización en Argentina desde 1948 hasta el año 2004. En la cuarta sección se analiza el Sistema Nacional de Vigilancia y Control Aeroespacial creado en el año 2004. En la quinta -en base a entrevistas en profundidad y análisis de documentos oficiales- se analiza el rol de INVAP en el desarrollo de radares y su relación con la FAA. Finalmente, en la última sección, se presentan conclusiones preliminares.

Antecedentes y primeros desarrollos de radares

La palabra radar, se origina en el acrónimo en lengua inglesa RaDAR (*Radio Detection and Ranging*), acuñado durante la II Guerra Mundial (IIGM). Es una tecnología utilizada para la detección de objetos a distancia, cuyo desarrollo inicial posee la característica de haber sido realizado en forma simultánea en diversas instituciones pertenecientes a varios países del mundo.

Las primeras experiencias que documentan la posibilidad de detectar objetos por medio de ondas de radio, fueron realizadas por el científico ruso Aleksandr Stepánovich Popov, en 1897, durante los experimentos que realizó con emisores y receptores de radio en el mar Báltico. La primera patente relacionada con la aplicación de las ondas de radio para detectar objetos es de 1904 y fue presentada por el alemán Christian Hülsmeier, quien además

construyó el primer dispositivo de detección de objetos para barcos. Este dispositivo, el *Telemobiloskop*, fue comercializado con bastante éxito en compañías navieras en su época.¹⁰

La investigación sobre la detección de objetos por medio de ondas de radio se iría replicando en diversos países del mundo, dada la importante aplicación que podía tener tanto en materia de defensa, como en usos comerciales.¹¹ Por esta dualidad de fines no es de extrañar que haya sido materia de investigación tanto en laboratorios de empresas privadas, como de universidades y laboratorios gubernamentales.¹²

Primeros desarrollos de radares en diversos países

Alemania

El desarrollo de los primeros radares alemanes, estuvo signado por las diferencias —y distancias— existentes entre la marina (*Kriegsmarine*) y la fuerza aérea (*Luftwaffe*), que harían que existieran desarrollos inconexos entre sí, dando lugar a una duplicación de esfuerzos.¹³ A este escenario de competencia interna, se sumó la falta de apoyo a esta tecnología desde la cúpula del gobierno por parte de Hitler y Goebels, por una cuestión perceptiva: el radar era considerado una tecnología para la defensa, y ésta no tenía cabida dentro de los planes triunfalistas, trazados durante la década de 1930 y parte del desarrollo de la IIGM.¹⁴

De todas formas, existieron esfuerzos técnicos —que, aunque no fueron prioritarios, al menos hasta que Alemania debió pasar a una posición defensiva— gracias a los cuales se logró producir equipos, “con mejor resolución, mejores capacidades, más robustos y de gran versatilidad” respecto a los de otros países antes del inicio de la IIGM.¹⁵ Cabe mencionar la participación de empresas privadas tales como GEMA, Lorenz o Telefunken, que fue significativa en estos primeros desarrollos.¹⁶

Hasta 1945, si bien el desarrollo fue avanzado técnicamente, no llegó a una implementación con sistematización de la información —como veremos que sí ocurrió en el Reino Unido (RU)— manteniéndose, en cuanto a la operación, prácticas antiguas aunque provistas de nuevas tecnologías: los radares servían como puesto de observación avanzada con carácter local, sin integrar la información en un único sitio o sistema, de forma tal que si bien la

¹⁰ Brown (1999); Chernyak e Immoreev (2009); Thumm (2001).

¹¹ En la década de 1930 Alemania, Estados Unidos, Francia, Holanda, Italia, Japón, el Reino Unido y Rusia realizaron investigaciones y desarrollos sobre detección de objetos por ondas de radio; Kenny (1960) y Brown (1999).

¹² Süsskind (1994); Brown (1999).

¹³ De hecho, la *Kriegsmarine*, recién dio a conocer sus primeros radares para la detección de buques como de aviones a la *Luftwaffe* en 1938. Según Brown, desde la *Kriegsmarine* se hicieron todos los esfuerzos posibles para que ésta no tuviera acceso a los desarrollos que se realizaron en el seno de la empresa GEMA gracias a su financiamiento, y por esto la *Luftwaffe* recurrió a los servicios de la empresa Lorenz, con experiencia en sistemas de navegación por ondas de radio, para desarrollar sus radares.

¹⁴ Beyerchen (1994).

¹⁵ Beyerchen (1994), p. 268.

¹⁶ Brown (1999).

invención había llevado a una técnica más avanzada, el uso que se le dio a ésta no logró operacionalizarse de forma innovadora.¹⁷

Cabe mencionar entre los hitos logrados en Alemania, que hacia 1934 se captó el pasaje de un barco a 4000 m de distancia utilizando ondas de 13,5 cm y, ese mismo año, investigadores de GEMA lograron detectar el paso de un avión. Pese a este temprano logro en microondas, en Alemania se abandonaría esta línea de investigación, en favor de otras orientadas a ondas más largas.¹⁸

Estados Unidos

En los Estados Unidos, el desarrollo de radares se debió en gran parte a la interacción entre instituciones gubernamentales, las fuerzas armadas y empresas privadas. Respecto al sector gubernamental, los principales impulsores del desarrollo de radares fueron el *Naval Research Laboratory* (NRL) y el *Signal Corps* (Cuerpo de señales) del ejército. También trabajaron en la aplicación de ondas de radio para detectar objetos ingenieros de empresas privadas como *RCA* (*Radio Corporation of America*), *Bell Laboratories*, *Westinghouse* y *Western Electric*.

Pese a sus comienzos tempranos, antes del inicio de la IIGM, estos desarrollos fueron caracterizados por llevar un ritmo pausado, con apoyo gubernamental limitado, estando esta tecnología, una vez comenzada la conflagración, por detrás de los desarrollos ingleses y alemanes. Podemos pensar que esto se debió a que no se tenía un imperativo para la defensa, como en el caso del RU, ni tampoco una orientación ofensiva como en el caso alemán, o a que no se había llegado a comprender cabalmente el alcance que dicha tecnología podía tener, y en consecuencia no fue considerado fundamental apoyar su desarrollo.¹⁹

De esta forma en los albores de la IIGM el radar era percibido en EEUU como “una respuesta vaga a amenazas inciertas”, y por tanto tampoco en este país había sido objeto de financiamiento masivo.²⁰ Como veremos más adelante, esto cambió hacia 1940 gracias a la transferencia de tecnología impulsada por el RU.

Japón

Hacia 1930 en Japón ya se realizan experimentos en radares, y en 1936 en la Universidad de Osaka se crea un dispositivo capaz de detectar el paso de un avión, con antena emisora y receptora separadas. Dos hechos son característicos del desarrollo de radares en Japón. En primer lugar, que las personas que estuvieron involucradas en estas investigaciones no tenían, en general, contacto entre sí, recurriéndose habitualmente al trabajo de investigadores en forma individual, en vez de recurrir a grupos de investigación. Adicionalmente, a los investigadores civiles que realizaban adelantos en la materia no se les permitía participar en los

¹⁷ Beyerchen (1994).

¹⁸ La utilización de ondas de radio más cortas, implica la posibilidad de obtener ecos de objetos más pequeños y cubrir mayores distancias. Sin embargo, para lograr ondas más cortas, es necesario desarrollar la capacidad de emitir ondas de mayor frecuencia. Esto, a su vez, constituyó un considerable reto en el desarrollo de la tecnología radar de microondas. Ver Brown (1999).

¹⁹ Beyerchen (1994). Goebel (2011).

²⁰ Allison (1981), citado por Beyerchen (1994), p. 277.

experimentos junto a los militares que probaban equipos, disminuyendo de esta manera la posibilidad de realizar ajustes, así como tampoco de mejorar sus dispositivos según las necesidades que podrían haber detectado *in situ*.²¹

En Japón no se asignaron muchos recursos al desarrollo de radares antes del inicio de la IIGM. Al igual que en Alemania, la marina y el ejército desarrollaron esta tecnología en forma separada e inconexa. En tanto que la marina recurría a institutos de investigación propios, el ejército asignó la investigación a universidades y empresas privadas.²²

Según Wilkinson, en los primeros años de la IIGM los altos mandos de la armada y del ejército poseían una visión exitista, similar a la de Alemania, según hemos visto.²³ En esta interpretación el radar era percibido como un dispositivo ligado a la defensa, por lo que su desarrollo tuvo un apoyo político limitado. Cuando Japón debió pasar a una posición defensiva, y el alto mando vio la necesidad de dar impulso a las investigaciones en radares, ya era tarde para lograr ponerse a la altura de la tecnología que era utilizada por los aliados.²⁴

Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas

Las actividades de ciencia y tecnología orientada a defensa que se realizaban al interior de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) se caracterizaron por la duplicación y hasta triplicación de esfuerzos de investigación y desarrollo en diversos laboratorios, dando esto lugar a pugnas entre los diversos grupos.²⁵

Los primeros desarrollos fueron realizados por dos unidades militares (el Departamento Principal de Artillería del Comisariado de Defensa del Pueblo (PDA-PCD, por su sigla en inglés), orientados a equipos para artillería anti-aérea; y el Departamento de Defensa Aérea del Ejército Rojo (DAD-RA por su sigla en inglés), y por el Instituto Ucrainiano de Física y Tecnología (LIPT, por sus sigla en inglés), donde se trabajó en la detección de aeronaves con resultados positivos hacia 1934, significando estos trabajos un hito en la historia de la ciencia y la tecnología de la URSS.²⁶

Pese a este promisorio inicio, los avances no fueron concatenados con un ritmo constante en el tiempo y por lo tanto el desarrollo de radares fue perdiendo ímpetu paulatinamente: los resultados obtenidos hacia 1940, hacían que los radares soviéticos tuvieran un pobre desempeño.²⁷ Durante parte de la IIGM, la URSS dependió de la ayuda que EEUU y el RU brindaron en equipamiento radar (programa *Lend-lease*). Estos equipos fueron posteriormente objeto de ingeniería inversa, logrando los ingenieros de la URSS alcanzar el estado del arte.

Además de la mencionada multiplicidad de esfuerzos, el desarrollo de radares en la URSS tuvo que enfrentar algunos impedimentos: la falta de interés del alto mando de las fuerzas armadas; el envío a Gulags, durante las purgas de 1937 de científicos e ingenieros de

²¹ Wilkinson (1946).

²² Brown (1999).

²³ Wilkinson (1946).

²⁴ Brown (1999).

²⁵ Kostenko, et al. (2001) y Brown (1999).

²⁶ Brown (1999); Chernyakh e Immoreev (2009); Kostenko *et al.* (2001).

²⁷ Brown (1999).

primer nivel, tales como Piotr Oschepkov, que trabajaban en radares desde la década de 1930; y posteriormente, en julio de 1941, la mudanza del UIPT desde Kharkov, Ucrania, hacia el Este, ante el avance de las tropas nazis.²⁸

Reino Unido

Para comprender el énfasis que en el RU se le brindó al desarrollo de radares, es necesario tener en cuenta la preminencia de consideraciones de tipo geopolítico-estratégicas, sobre aquellas de carácter científico-tecnológico. En este sentido, Brown, señala el hecho de que las evaluaciones opuestas realizadas por los ingleses y alemanes respecto del valor de la fuerza aérea, llevaron a cada país a suponer que el otro basaría la elección de sus cursos de acción según sus propios supuestos: el RU basaría su defensa en protegerse de los bombardeos estratégicos, pese a que Alemania no los estuviera planeando antes del inicio de la guerra.²⁹

Hacia junio de 1935 se demuestra en el “experimento de *Daventry*” la factibilidad técnica de la propuesta de detectar altitud, acimut y distancia gracias a la utilización de ondas de radio pulsadas.³⁰ El logro alcanzado, similar a los obtenidos en otros países, tuvo la característica que al emplearse ondas de radio pulsadas, en vez de continuas, permitía determinar la distancia del objeto detectado.^{31 32}

En el RU el radar fue concebido como un artefacto fundamental para la defensa de la isla, ante la amenaza en que se iba constituyendo la Alemania nazi durante la década de 1930. Hacia 1937 se decide erigir un sistema de defensa que se basaba en la creación de una “barrera” consistente en estaciones para la detección temprana de aeronaves y buques que se dirigieran hacia el RU. Este sistema, llamado *Chain Home* (CH), en funcionamiento hacia mediados de 1939, fue complementado posteriormente con otro para la detección de aviones volando a baja altura, llamado *Chain Home Low*.³³

Pese a que los radares desarrollados y desplegados por el RU no fueran particularmente mejores que los de otros países (de hecho, técnicamente estaban por detrás de los alemanes al inicio de la IIGM), lo que diferenció a los ingleses, en lo que al uso de radares durante la guerra se refiere, fue la utilización que dieron a los datos provistos. En efecto, la información obtenida por las diversas estaciones de radares de CH era comunicada a un Centro de Comando Central, conocido como Cuarto de Filtrado, que coordinaba la lucha contra los escuadrones de aviones enemigos que ingresaban en su territorio.³⁴ Según Beyerchen, los

²⁸ Entre 1934 y 1939 se llevaron a cabo en la URSS una serie de persecuciones políticas contra miembros del partido comunista, oficiales de las fuerzas armadas y opositores al régimen. Como resultado de este proceso Stalin consolidó su poder tanto como cabeza del partido comunista como del estado soviético. Kostenko (2001), p. 38; Brown (1999); Kostenko, et al. (2001).

²⁹ Brown (1999). La expresión “bombardeos estratégicos” es un eufemismo dado a los bombardeos de objetivos no militares, particularmente civiles.

³⁰ La Real Academia Española define “acimut” como el “ángulo que con el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo”.

³¹ Süsskind (1994).

³² Brown (1999).

³³ Goebel (2011).

³⁴ Beyerchen (1994); Goebel (2011).

ingleses pueden atribuirse la autoría del desarrollo de una innovación clave, por cómo operacionalizaron la información provista por los radares, lo cual los puso en una posición de ventaja frente a la utilización del radar con respecto a cualquier otro país.³⁵

Esta forma de organizar la defensa del RU, favoreció la victoria sobre Alemania en la llamada Batalla de Inglaterra.³⁶ Posteriormente, la *Luftwaffe* (fuerza aérea alemana) cambió su estrategia y comenzó a atacar las ciudades por las noches, lo cual evidenció la necesidad de dotar a los aviones de caza de radares (*Airborne Interception*, o AI) para poder ubicar a los aviones enemigos en la oscuridad, así como también desarrollar sistemas de radar para la artillería antiaérea.³⁷

A fin de dotar con radares a los aviones caza, era necesario desarrollar válvulas que emitieran ondas de alta frecuencia, poder cubrir distancias mayores y permitir a su vez la detección de objetos más pequeños. Así, se facilitaría la intercepción de naves enemigas, particularmente durante la noche o en condiciones meteorológicas adversas.

En 1939 en el RU, el almirantazgo a través del *Department of Scientific Research and Experiment* (DSRE) firma un contrato con el Departamento de Física de la Universidad de Birmingham para el desarrollo de tecnología de microondas. Durante febrero de 1940, se logra emitir ondas de una frecuencia y amplitud estable, de un largo de banda de 9,8 cm y 400W de potencia, gracias al desarrollo de un dispositivo al que se llamó “magnetron de cavidades”.³⁸

El desarrollo del magnetron de cavidades marcó un antes y un después en la tecnología de emisión de ondas de radio al permitir producir microondas. Sin embargo, sus componentes existían ya 20 años antes, y por esto, no debe sorprender que ya había sido inventando, no una, sino cuatro veces anteriormente. Esta afirmación hace referencia a su desarrollo en la URSS, Suiza y los Estados Unidos en 1936 y Japón en 1937.³⁹ En todos estos casos hubo patentes y/o publicaciones en la literatura científica de la que, aparentemente sus inventores no estuvieron al tanto.⁴⁰

³⁵ Beyerchen (1994).

³⁶ La batalla de Inglaterra fue el conjunto de combates aéreos librados sobre el Reino Unido y el Canal de la Mancha entre julio y octubre de 1940, como parte de la ofensiva alemana contra la Royal Air Force, a fin de obtener la supremacía aérea que permitiría la invasión de Gran Bretaña. Para más detalle del rol del radar en el resultado de esta batalla puede consultarse a Brown (1999) y Goebel (2011).

³⁷ Goebel (2011).

³⁸ Técnicamente, esto implica la emisión ondas lo suficientemente cortas para constituir microondas, pero con la potencia suficiente para poder analizar la onda que rebotara en un objeto; Brown (1999) y Kaiser (1994).

³⁹ Véase Brown (1999), particularmente las páginas dedicadas a Arthur Samuel, de Bell Telephone Laboratories (quien pese a haber obtenido una patente en 1936 en EEUU, nunca realizó publicaciones sobre su dispositivo por no lograr suficiente potencia) ha sido señalado por los japoneses como el inventor del magnetron de cavidades. También en 1936 Fritz Lüdi de la empresa suiza Brown, Boveri & Cie, experimentó con un magnetron para generar ondas centimétricas, publicando sus avances entre 1937 y 1942. Este dispositivo nunca fue utilizado para el desarrollo de radares en Suiza. En 1936 y 1937, Alekseev y Malairov produjeron una serie de magnetrones de cavidades para ser utilizados en artillería antiaérea, en el Instituto de Investigación Científica 9 (NII-9) en la URSS. En 1940, mientras el magnetron de cavidades era uno de los máximos secretos tecnológicos del RU, se publica este desarrollo en la literatura científica de URSS, según Brown donde la posición tomada por el Prof. Joffe de no utilizar microondas para los radares, impidió que se considerara el impacto que dicha tecnología podría tener en el desarrollo de radares. Hacia 1937, Tsunero Ito y Kanjiro Takahashi, en Japón, produjeron una válvula similar al magnetron de cavidades que producía ondas centimétricas, y por ende más cortas que las habituales de la época, y hacia 1939 lograban 500W en forma continua.

⁴⁰ Brown (1999) y Goebel (2011).

Ante la necesidad de producir en serie el magnetrón de cavidades, para su utilización en la defensa de la isla frente al avance de Alemania, Churchill decide compartir este desarrollo tecnológico con los Estados Unidos. Se crea así la *British Technical and Scientific Mission* a cargo de Henry Tizard (conocida como “Misión Tizard”) que arriba a Estados Unidos en septiembre de 1940.

Al momento de la llegada de la misión Tizard a EEUU (país que por ese entonces aún no era beligerante), entre este país y el RU no había diferencias cuantiosas en lo referido al avance en tecnología de radares de onda larga y si bien el magnetrón de cavidades ya había sido desarrollado en EEUU, había pasado absolutamente desapercibido para los investigadores estadounidenses de radares y, por tanto, allí no se contaba con tecnología de microondas para ser utilizada en radares.

Comprendida la importancia de este dispositivo, se crea a mediados de noviembre de 1940, en el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), el *Radiation Laboratory* (*RadLab*), para investigaciones sobre el magnetrón de cavidades. Además de la transferencia de tecnología en sí, la Misión Tizard permitió estrechar vínculos de colaboración entre EEUU y el RU que permitieron un rápido avance en la investigación y desarrollo de radares.⁴¹

Historia de la radarización en Argentina

Primeros radares

Los primeros pasos en pos de la incorporación de tecnología radar en Argentina se producen durante el año 1948. Desde 1946 Perón era el presidente de la República, plasmándose los lineamientos de su gobierno para los años 1947 a 1951 en el “Primer Plan Quinquenal”. Allí se promovían fuertes políticas sociales y económicas, al tiempo que declaraba la necesidad de -y se sentaban las pautas para- lograr el desarrollo industrial de la Argentina. Los aspectos vinculados a la defensa no solo estaban incluidos, sino que además eran considerados como un problema fundamental que atravesaba a toda la sociedad.

El plan quinquenal tenía un fuerte supuesto implícito: la inminencia de un nuevo conflicto bélico mundial que enfrentaría a los EEUU con la URSS. De cara a este potencial conflicto Argentina tenía material bélico antiguo, según Lalouf, en parte como consecuencia de haberse mantenido al margen de la IIGM, pero además por la negativa de EEUU, una vez finalizada la contienda, a facilitar el acceso del país a materiales en desuso, que sí era ofrecido a otros países que habían luchado junto a los Aliados.⁴²

Cuadro 1: Localización de las primeras estaciones de radar y puesta en servicio

Localidad	Provincia	Año
Mar del Plata	Buenos Aires	1953
Magdalena	Buenos Aires	1953
General Belgrano	Buenos Aires	1954
Möll	Buenos Aires	1954

⁴¹ Brown (1999).

⁴² Lalouf (2004).

Ireneo Portella	Buenos Aires	1955
Punta Rasa	Buenos Aires	1956
Larroque	Entre Ríos	1958

Fuente: elaboración propia en base a Fuerza Aérea Argentina (2013).

Como consecuencia de este escenario, el gobierno nacional dedicaría recursos en pos de lograr la autonomía en cuanto a insumos militares, en el marco de una ideología que puede definirse como tecno-nacionalista, iniciándose una etapa de creación y fortalecimiento de capacidades científicas y tecnológicas que darían como resultado, entre otros logros, el diseño y fabricación de los aviones I.Ae. 27 Pulqui I (primer avión a reacción latinoamericano) e I.Ae.33 Pulqui II.⁴³

Hasta tanto estos esfuerzos de diseño y fabricación nacional de aviones a reacción dieran sus frutos, a fin de actualizar el material bélico disponible, la Argentina planificó la compra al RU de doscientos aviones *Gloster Meteor*, cien en 1947 y cien al año siguiente. Finalmente, solo se adquirieron 100 unidades, junto con bombarderos pesados *Avro-Lincoln*, *Avro-Lancaster* y 8 radares Raytheon SCR-588-B.⁴⁴

Argentina fue así, el primer país sudamericano que contó con radares para control del espacio aéreo. Esta adquisición, fue posible gracias a la deuda contraída por el RU por la compra de alimentos a la República Argentina, durante la IIGM y en la inmediata posguerra. Fue parte de una compra compensada enmarcada en la declaración de la inconvertibilidad de la deuda inglesa, nominada en libras esterlinas a dólares estadounidenses, que llevó a Argentina, además de a la mencionada compra de material aeronáutico, a la nacionalización de ferrocarriles de capital inglés.⁴⁵

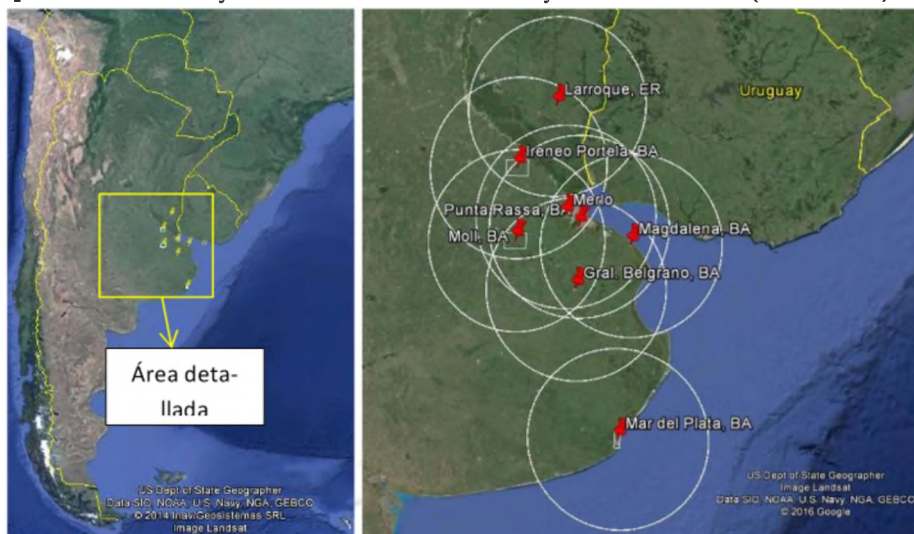
La principal función de los radares Raytheon fue la vigilancia y control aéreo de la zona circundante a la ciudad de Buenos Aires. Estos radares primarios, del tipo *Ground-Controlled Interception* (GCI) estaban pensados como una herramienta de defensa, a ser utilizada en coordinación con los aviones *Gloster Meteor*.⁴⁶

⁴³ El tecno-nacionalismo, es una ideología en la cual el desarrollo industrial y tecnológico constituyen los pilares fundamentales para lograr la autonomía política e independencia económica (Thomas 1999). Cabe aclarar que Adler (1988) acuña el concepto de “ideología anti-dependencista pragmática” como la ideología que sustenta los intentos desarrollistas orientados por un ideal nacionalista tendientes a generar –y mantener- la autonomía (en tanto autodeterminación política) de un país. Para más detalles sobre el desarrollo del Pulqui I y II se puede consultar, además del trabajo citado de Lalouf (2004), el libro de Alejandro Artopoulos (2012), así como la tesis de maestría de Alberto Lalouf (2005).

⁴⁴ *Ibidem*.

⁴⁵ Para un mayor detalle de las circunstancias y motivos por los que RU bloqueó la disponibilidad de libras esterlinas que adeudaba a nuestro país, puede consultarse el artículo de Skupch (1972).

⁴⁶ Los radares pueden clasificarse tomando en cuenta si la información se obtiene gracias a la colaboración de los objetos detectados. Los radares primarios son utilizados con fines de defensa y control del espacio aéreo, por no requerir “colaboración” del objeto detectado para obtener información sobre él, en principio distancia, altura y acimut. Los radares secundarios, constan de un emisor terrestre que envía pulsos que son respondidos por un artefacto llamado *transponder*, a bordo del avión, que da información sobre el mismo. Son utilizados en control de tránsito aéreo y derivan del dispositivo IFF (*identification friend or foe*, en inglés), diseñado durante la IIGM a fin de determinar cuáles ecos captados por los radares primarios correspondían a aviones amigos y cuáles no.

Mapa 1: Ubicación y cobertura de radares Raytheon SCR588B (circa 1958)

Fuente: Elaboración propia en base a Fuerza Aérea Argentina, 2013. Mapa de Google Earth Pro.

Entre 1953 y 1958 fueron construyéndose las distintas estaciones de radar en la Provincia de Buenos Aires y en el Sur de la Provincia de Entre Ríos, contando cada una con un alcance de unos 152 km a 3048 m de altitud. En el Cuadro 1 se muestra el año de finalización de cada una de estas estaciones, mostrándose en el Mapa 1 la cobertura de radar lograda hacia 1958.⁴⁷

Al igual que la compra de los aviones *Gloster Meteor*, esta adquisición fue orientada a mejorar la infraestructura para la defensa, en tanto que, en el marco del primer plan Quinquenal, se desarrollaba localmente la tecnología necesaria, a fin de disminuir la dependencia tecnológica en el futuro.⁴⁸

Efectivamente, hubo dos laboratorios nacionales que trabajaron en radares en aquellos años: hacia 1951 existía una sección del Instituto Aerotécnico llamada “Laboratorio Central de Electrónica de Aeronáutica”, en cuyas dependencias de Córdoba se realizaban “estudios de equipos y materiales vinculados a las microondas [incluyendo] la construcción de un reflector parabólico concentrador de microondas y destinado a un equipo de radar”.⁴⁹ También existió el “Laboratorio de Electrónica (LAFE)”, dependiente de la Dirección General de Fabricaciones Militares (DGM), en el cual había una sección llamada “Microondas” donde se realizaba investigación básica y aplicada. En el trabajo de este laboratorio se priorizaron las “realizaciones prácticas de inmediata necesidad, como son el radar, el microondas, la televisión y las comunicaciones”.⁵⁰ Sin embargo, a diferencia de lo sucedido en el caso de los

⁴⁷ Fuerza Aérea Argentina (2013).

⁴⁸ Rougier (2013) explica que la existencia de un “complejo militar-industrial” en la Argentina de la posguerra constituyó el epicentro de un “complejo industrial-privado” (Schvarzer, 1979) que dio lugar a la creación de una serie de empresas estatales. Existen trabajos sobre diversos componentes de este complejo tales como los de Picabea (2010), Belini (2014), Raccanello y Rougier (2014), además del ya citado de Rougier (2013)

⁴⁹ Anónimo (1951), p. 77.

⁵⁰ Anónimo (1952), p. 52. En el marco de esta investigación no ha sido posible establecer los avances logrados, ni la fecha en que se dejaron de realizar desarrollos en tecnología de radar y microondas en estos laboratorios.

aviones, donde se logró la construcción de los dos modelos de Pulqui, el diseño y desarrollo de radares no prosperó.

Hacia 1958 personal del Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas (CITEFA) realiza una modernización de los radares Raytheon SCR-588-B que comprendió innovaciones y modificaciones en el material original, tales como la sustitución de la antena original por otra en forma de diedro.⁵¹ Esta modificación solo se implementó en dos sitios, Punta Rasa y Mar del Plata, provincia de Buenos Aires, posiblemente a causa de que se trataba de una modificación para una tecnología que ya había sido reemplazada por otras en los países desarrollados.⁵²

En la década de 1960, la obsolescencia de los radares Raytheon trajo aparejada la necesidad de su reemplazo. Se decidió entonces que los ocho radares serían reemplazados por un único radar, de la firma Marconi del RU. Se trataba de un sistema integrado por un radar de vigilancia que aportaba información de acimut y distancia (con un alcance de 410 km) mas un segundo radar que permitía establecer la altura de aviones (con un alcance de 370 km).⁵³

Junto con el cambio de los radares, la FAA emprende la construcción de un Centro de Información y Control (CIC), en la ciudad de Merlo, Buenos Aires. Dicho centro está constituido por un búnker bajo tierra compuesto por tres niveles operativos mas uno adicional de servicios.⁵⁴ Se adoptaba de esta forma el modelo utilizado por el RU en la IIGM, en lo referente al procesamiento de la información provista por los radares, en el cual la información obtenida por cada sensor se integra en un centro de información y control, que en base a ella toma decisiones operativas. La cobertura de este radar se muestra en el Mapa 2.

En 1968 se decide dar de baja a los aviones *Gloster Meteor*, y luego de evaluar diversas alternativas la FAA decide reemplazarlos por aviones Mirage III. Este nuevo sistema de armas requería de un radar moderno, lo cual derivó en que la compra de estos aviones se complementara con la compra de un radar Bendix BPS-1000 que se instalaría en el CIC de Merlo, cubriendo –nuevamente- el sector de defensa Buenos Aires. Este radar contaba con innovaciones referidas a la tecnología de la consola -de avanzada para el momento- gracias a la utilización de software.⁵⁵

El radar Bendix, que fue encargado por la FAA a la firma estadounidense Bendix *International Service Corporation*, comenzó a operar en 1976 y su introducción significó el inicio del tratamiento digital de la información radar en Argentina.⁵⁶ Este radar incluía capacidad

⁵¹ El CITEFA fue creado en 1954 por Decreto Presidencial N° 441 del Presidente Perón, tomando como punto de partida al preexistente Departamento Técnico de la Dirección General de Fabricaciones Militares, creado en 1941. Además de haber sido un centro productor de armamento y material bélico, fue un foco de desarrollo industrial para el país. Desde 2007, por Decreto Presidencial N° 788 pasó a llamarse CITEDEF (Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa) (Hurtado, 2010; CITEDEF, 2014).

⁵² Entrevista a Fuente 4 (2014) y Fuerza Aérea Argentina (2013).

⁵³ Existe discrepancia en las fuentes acerca de los modelos de radar involucrados. Según Fuerza Aérea Argentina (*Ibidem*) se trataba de los modelos S311/1 y S 239/1 respectivamente. Por su parte la Fuente 4 (2014), menciona que los modelos son SR 301/1 para vigilancia y SR 289/1 para determinación de la altura.

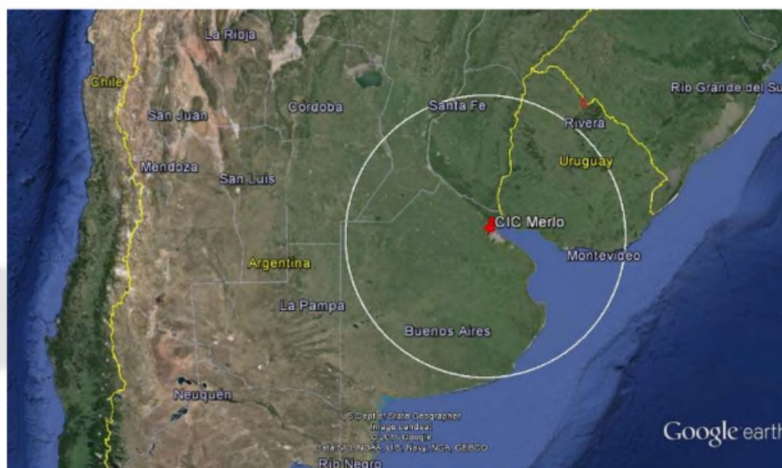
⁵⁴ Entrevista a Fuente 4 (2014).

⁵⁵ Entrevista a Fuente 2 (2014).

⁵⁶ Entrevista a Fuente 4 (2014).

de simulación y la integración en una misma pantalla de la información de altura, acimut y distancia.⁵⁷

Mapa 2: Cobertura del radar Marconi



Fuente: elaboración propia en base a Fuerza Aérea Argentina (2013). Mapa de Google Earth Pro.

SICEA: Primer Proyecto de Radarización Integral

Entre fines de la década de 1970 y comienzos de la década de 1980 la FAA impulsa el que sería el primer plan integral de radarización para Argentina, el Sistema Integrado de Control del Espacio Aéreo (SICEA). Este proyecto representaba un cambio en el concepto operativo de la vigilancia y control aeroespacial, puesto que pretendía integrar la información radar de Tránsito Aéreo Civil y la concerniente a la Defensa.⁵⁸

El SICEA incluía la compra de radares, infraestructura de telecomunicaciones y un nuevo centro de control.⁵⁹ Había sido pensado en dos etapas, la primera para la cobertura del centro y norte del país, en tanto que la segunda etapa cubriría el sur, requiriendo una inversión de ochocientos millones de dólares. La particularidad era que cerca del 60% de la inversión necesaria era para construir un subsistema de comunicaciones, dado que la red existente en ese momento -por cuestiones técnicas- no podía soportar la transferencia en tiempo real de información.⁶⁰

El alto costo de este proyecto, llevó a que una vez completada la etapa de diagnóstico y estudio de propuestas, se discontinuara por falta de capacidad económica para su concreción. Este proyecto aportó a la FAA experiencia para hacer evaluaciones técnicas.⁶¹

Simultáneamente, se realizaron compras parciales para obtener radares, sin buscar constituir un sistema integral. Es así que en el año 1978 la FAA adquiere seis radares primarios 3D tácticos (móviles) *Westinghouse AN TPS-43*, de EEUU. Su adquisición significó un cambio

⁵⁷ Fuerza Aérea Argentina (2013).

⁵⁸ Entrevista a Fuente 4 (2014).

⁵⁹ Entrevista a Fuente 2 (2014).

⁶⁰ Entrevista a Fuente 4 (2014).

⁶¹ Entrevista a Fuente 2 (2014).

conceptual en el uso de radares primarios, dado que permitía cubrir diversos sectores de defensa del país según fuera requerido, de forma tal que se desplegaban los radares junto con sistemas de armas (aviones de combate) y un Centro de Comando y Control. De estos radares, que poseen una cobertura de 410 km, los primeros en llegar al país fueron desplegados en 1978 durante el conflicto argentino-chileno por el Canal de Beagle en Río Gallegos (Santa Cruz) y Alto Pencoso (San Luis).⁶²

En esta época también se adquiere el primer radar secundario, a la firma francesa Thomson, y que es emplazado por la FAA, en el Aeropuerto de Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Se inicia así la radarización con fines civiles, es decir, para control del tránsito aéreo comercial. A este radar secundario le seguirían otros que serían adquiridos a la empresa italiana Alenia y serían instalados en las ciudades de Córdoba (1986), Mendoza (1994), Paraná (1996) y Mar del Plata (1997).

El Plan Nacional de Radarización de 1996

Hacia mediados de la década de 1990 la situación del control del tránsito aéreo y el control del aerospacio continuaba presentando una fuerte dependencia de tecnología extranjera. Esta dependencia era particularmente sensible en lo referido al mantenimiento avanzado de los radares y la disponibilidad de repuestos. Asimismo, la baja cantidad de sensores en territorio argentino (unos once radares en total bajo la órbita de la FAA) hacían que el país no tuviera suficiente poder de negociación con respecto a los diversos proveedores.

En 1996, el Presidente Carlos Menem firma el Decreto 145/96 aprobando el Plan Nacional de Radarización. Este decreto autorizaba al Ministerio de Defensa (MD) a llamar a licitación nacional e internacional para la compra de un sistema llave en mano que integrara el control de tráfico aéreo con el control del espacio aéreo, en el marco de una primera etapa de implementación de este plan, por un valor presupuestado de 185.300.000 de dólares.⁶³

Los considerandos de dicho decreto giraban en torno a los siguientes ejes:

(i) Existencia de una cobertura radar limitada del territorio nacional, tanto en radares primarios como secundarios, que generaba la necesidad de mejorar la seguridad y el control del espacio aéreo nacional así como también incrementar la eficiencia en el manejo de los vuelos comerciales;

(ii) La situación de obsolescencia tecnológica que se transparentaba en la necesidad de actualizar la tecnología a fin de pasar de sistemas analógicos a digitales, que constituyeran un sistema de radares a nivel nacional que proporcionara servicios a todas las terminales del país, y que admitiera el procesamiento automático de datos;

(iii) El incremento del tráfico aéreo en los años previos (tanto por tráfico aéreo lícito como ilícito), junto a pronósticos de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) de aumento del tráfico aéreo del 5% anual en la región hasta 2001.

⁶² Entrevista a Fuente 4 (2014).

⁶³ El Plan Nacional de Radarización debe comprenderse en el marco de las políticas de corte neoliberal llevadas adelante durante los gobiernos de Menem, en los cuales se agudizaron los procesos de desindustrialización y reestructuración regresiva de la actividad industrial (Azpiazu et al., 2001; Schorr, 2001), la desregulación de los mercados, liberalización comercial, y la privatización de empresas públicas (Notcheff, 1998; Carassai, 1998).

También se mencionaba “que la actualización de los sistemas de vigilancia y control del espacio aéreo involucra la Seguridad Nacional, vinculándose también con el desarrollo económico del país”.⁶⁴

Durante 1997 el gobierno presenta la primera parte del "programa" de radarización de todo el territorio nacional para controlar el espacio aéreo. Esta primera etapa preveía el emplazamiento de dieciséis radares que incluían: tres radares móviles 3D en el norte y centro del país (noroeste, noreste y centro del país).⁶⁵ La segunda etapa preveía la instalación de otros dieciocho radares para reforzar la zona norte del país y ampliar los controles en la Patagonia. La FAA participaba definiendo los requerimientos y analizando los aspectos técnicos y operativos de las ofertas que se presentaran. El MD analizaría y decidiría eventualmente en lo referido al aspecto económico.

Cuatro empresas presentaron propuestas para la licitación de la primera etapa del plan: Raytheon Company; Northrop Grumman Overseas Service Corporation (ambas de EEUU); Thomson CSF (Francia); y Alenia-Difesa (Italia). Sin embargo, este Plan Nacional de Radarización nunca llegó a ejecutarse por diversas causas, que dieron lugar a impugnaciones y acusaciones cruzadas entre las empresas participantes.⁶⁶ Este proceso licitatorio fue anulado el 24 de octubre de 2000, por el MD.

El Sistema Nacional de Vigilancia y Control Aeroespacial de 2004

En octubre de 2004 el Presidente Néstor Kirchner, por medio del Decreto 1407 crea el Sistema Nacional de Vigilancia y Control Aeroespacial (SINVICA). Este plan (actualmente vigente), prevé la integración de la información de radares para control del espacio aéreo, con la de los de control del tránsito aéreo. En su articulado se estipulan cuatro componentes constitutivos del sistema: (i) sensores radar (primarios y secundarios), (ii) aviones interceptores, (iii) sistemas de procesamiento e integración de la información, y (iv) sistemas de comunicaciones.⁶⁷

El objetivo del SINVICA es “controlar los movimientos en el espacio aéreo de jurisdicción nacional, incluidos los que provienen de terceros países o se dirigen hacia ellos, cumpliendo tareas de defensa aeroespacial y de control del tránsito aéreo” estableciéndose que deberían utilizarse, en la medida de lo posible, mano de obra técnica y capacidades de la industria nacional, para el diseño, desarrollo, ensamblado, construcción, prueba, operación y mantenimiento del sistema.⁶⁸

Esta norma presenta similitudes con respecto al Decreto 145/1996, en lo referente a los ejes descriptos previamente siendo algunos considerandos prácticamente copias textuales de los de aquel: cobertura radar limitada (en materia de control del tránsito área según

⁶⁴ Decreto 145/96. Posiblemente esta referencia a la radarización vinculada al desarrollo económico hiciera referencia más que nada a la posibilidad de incrementar el tráfico aéreo —como consecuencia del control radar en aerovías— y no a la adquisición, puesta en marcha, operación y mantenimiento del sistema en sí.

⁶⁵ Los radares 3D son aquellos capaces de establecer por sí mismos la medición de altura, distancia y acimut. En cambio, los radares 2D solo brindan información de distancia y acimut.

⁶⁶ Castro Olivera (1999).

⁶⁷ El término “sensores radar” en el ámbito de la FAA hace referencia a los radares como artefactos.

⁶⁸ Ministerio de Defensa (2010), p. 150 y Decreto 1407/04.

funcionando los mismos radares: Ezeiza, Córdoba, Mendoza, Paraná y Mar del Plata), obsolescencia tecnológica (cabe suponer que agudizada por el paso del tiempo), en un contexto de incremento del tráfico aéreo (lícito e ilícito).

El aspecto sobresaliente del nuevo decreto es la incorporación de una nueva dimensión hasta ahora ajena a la problemática de la radarización en Argentina y que es la referencia al desarrollo económico y social del país por medio de la producción nacional de radares. Este giro en la política de radarización se basa en la concepción de que ciencia y tecnología son factores *sine qua non* del desarrollo y es una idea que fue tomando fuerza en algunos ámbitos de la agenda política Argentina de los últimos años durante los gobiernos kirchneristas.⁶⁹

A fines de 2006 el Ministerio de Defensa (por Resolución 1244) finalmente aprueba el contrato para la provisión por parte de INVAP de un prototipo y la fabricación e instalación de 10 radares secundarios RSMA. Posteriormente en 2008 el MD encarga a INVAP la provisión de ocho unidades del Radar Primario Argentino (RPA) 3D -orientados a defensa nacional y control de tráfico aéreo irregular-, y en 2010 la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC) acuerda la compra de once radares secundarios adicionales a la empresa, que se sumarían a los once inicialmente previstos, totalizando veintidós los radares secundarios provistos por INVAP. En el Mapa 3, se muestra la cobertura de radares secundarios antes (a) y después de la implementación del SINVICA (b).

A fin de que Argentina pudiera planificar seriamente el diseño y desarrollo de un sistema de control del espacio aéreo por medio de radares, fue necesario el proceso de acumulación de capacidades tecnológicas y de conocimientos realizados por sus principales actores: la FAA e INVAP. La trayectoria de la FAA en la materia fue descrita sucintamente en las secciones anteriores. Nos concentraremos en la próxima sección en la trayectoria de INVAP y cómo se constituyó en un actor primordial para lograr el desarrollo local de esta tecnología.

El rol de INVAP SE en el desarrollo de radares

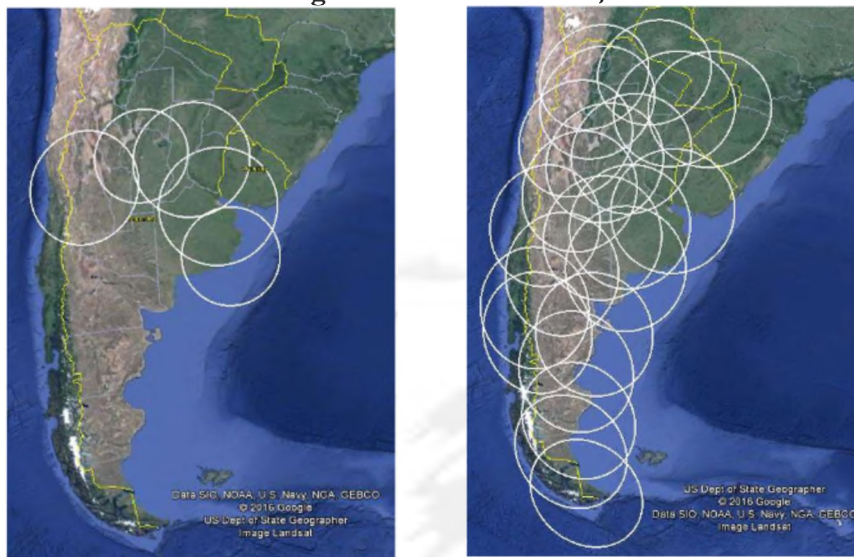
INVAP SE es una Sociedad del Estado creada en 1976, que pertenece a la Provincia de Río Negro. Puede ser clasificada como una “fábrica de tecnología” y ha sido descrita como una empresa “dedicada a proyectos tecnológicos complejos” que realiza operaciones vinculadas a áreas intensivas en conocimiento: nuclear, en la cual se han desarrollado reactores para investigación y producción de radioisótopos; aeroespacial, principalmente satélites y radares; medicina nuclear; energías alternativas y servicios a industrias (generadores eólicos, robots, equipos de liofilización, entre otros).⁷⁰

⁶⁹ Anlló y Peirano (2005), Del Bello (2012) y Versino, et al. (2013b)

⁷⁰ El concepto de “fábrica de tecnología” fue acuñado por Sábato (2014 [1980]). Seijo y Cantero (2008), p. 10. Sobre INVAP existen trabajos desarrollados por diversos autores, tales como Versino (2006), Versino, et al. (2013a), Seijo y Cantero (2008), Kozulj y Lugones (2007), Kozulj et al. (2005), Lugones (2008) y Hurtado (2010) que han estudiado su trayectoria desde diversas perspectivas, así como también sus tramas productivas.

Si bien inició sus operaciones en el área nuclear, durante la década de 1990 comienza a incursionar en el desarrollo de satélites, como consecuencia de una transferencia de tecnología con la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) de los EEUU.⁷¹

Mapa 3: Cobertura de radares secundarios en Argentina en 2004 (a), y cobertura radares secundarios en Argentina a fines de 2013, con 22 radares RSMA del SINVICA (b)



Mapa 3(a)

Mapa 3(b)

Fuente: elaboración propia en base a Folleto RSMA (s/f). Mapa de Google Earth Pro.

Antecedentes: El Radar de Apertura sintética del satélite SAO-COM

En el año 1998 la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) decide desarrollar una constelación de satélites llamada SAO-COM, acrónimo de Satélite Argentino de Observación con Microondas, en colaboración con la Agencia Espacial Italiana (ASI). A fin de poder llevar adelante este proyecto se requería de un trabajo mancomunado de diversos organismos, entre los que se encuentran además de la CONAE, la CNEA, el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), INVAP y algunas universidades argentinas.⁷²

En este contexto se encarga a INVAP parte del diseño e integración de los satélites gemelos SAO-COM 1A y 1B (en adelante nos referiremos en forma indistinta a estos satélites como SAO-COM), cuya principal carga útil la constituye un Radar de Apertura Sintética (SAR, por su sigla en inglés) de banda L.⁷³ Este tipo de radares tienen por fin analizar información

⁷¹ Al respecto puede consultarse Barcelona y Villalonga (1992).

⁷² CONAE (2014).

⁷³ La misión SAO-COM 1A fue definida por CONAE como parte de una constelación de satélites compuesta por cuatro satélites COSMO Skymed italianos y cuatro satélites SAO-COM argentinos. Esta constelación integra el Sistema Ítalo-Argentino de Satélites para Beneficio de la Sociedad, Gestión de Emergencias y Desarrollo Económico (SIASGE), cuyo fin es prevenir, monitorear, mitigar y evaluar catástrofes naturales o antrópicas. Los satélites SAO-COM 1A y 1B se encuentran, al momento de escribirse este artículo, en construcción. Los satélites 2A y 2B serán desarrollados con posterioridad buscando capitalizar la experiencia que se haya obtenido en diseño, desarrollo y operación; INVAP SE (2014); CONAE (2014).

provista por el rebote de las ondas en una superficie y obtener información referida a cuestiones como humedad del suelo, topografía, relieve, presencia de cobertura vegetal, etc. que permitirá su utilización con fines científicos.⁷⁴

La CONAE contrataba a INVAP el desarrollo de la electrónica central del SAR (emisión de pulsos) y su modelo de operación, así como también el diseño y desarrollo de la estructura necesaria para dar cabida a todos los componentes del satélite.⁷⁵

La contratación de la CONAE instalaba en la empresa la necesidad de recurrir a técnicos que tuvieran conocimientos específicos a fin de desarrollar un radar similar a otros ya existentes en el mundo.⁷⁶ Sin embargo, la capacidad técnica en INVAP con respecto a radio frecuencias (RF) era limitada, por lo que se contacta a dos ingenieros de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), uno de ellos experto en RF, sistemas de detección y comunicaciones; y el otro experto en procesamiento de señales.⁷⁷

Los primeros desarrollos del SAR hechos para el satélite SAO-COM tendrían un rol fundamental en acotar los tiempos de desarrollo de componentes de los radares, puesto que muchos de ellos, tales como el Generador de Señales y Sincronismos y el Módulo T/R (Transmisor / Receptor) realizados con carácter experimental, luego serían reutilizados para otros desarrollos vinculados a radares primarios y secundarios. A su vez, estos desarrollos irían generando un *stock* de conocimiento que con el correr del tiempo facilitarían la posibilidad de lograr ciertos adelantos, de modo tal que si no se hubiera contado con esta experiencia previa, el desarrollo de radares secundarios habría tomado mucho más que los cinco años que finalmente tomó.⁷⁸

Una vez que el diseño y construcción del satélite SAO-COM fueron asignados a INVAP, y que la empresa debía comenzar a trabajar a fin de entregar las partes comprometidas en tiempo y forma, surgió la dificultad de que los científicos externos a la empresa que debían definir parámetros concernientes a ciertos requerimientos técnicos no lograban establecer un acuerdo. Esta situación llevó a que, hacia el año 2000, los directores del proyecto en INVAP decidieran comenzar el desarrollo de los componentes aún no definidos, que se sabía que serían necesarios, a riesgo propio. Puesto que no se contaba con una definición detallada de las prestaciones exactas que deberían cumplimentar, se avanzó con la ingeniería básica de cada bloque, dotando con las prestaciones máximas que fuera posible a estos componentes. De esta forma se buscaba que *a posteriori* estos componentes fueran adaptables a las necesidades que finalmente fueran solicitadas.⁷⁹

Cuando INVAP había logrado desarrollar un Módulo T/R, ISA, la contraparte italiana en el desarrollo del SIASGE, ofrece a CONAE que se compraran y utilizaran módulos de fabricación italiana. De esta manera, pese a que el desarrollo de INVAP no fue finalmente incluido en el satélite, el mismo no fue en vano, puesto que el conocimiento adquirido por su diseño y desarrollo fue posteriormente utilizado, aplicándolo a los radares primarios.⁸⁰

⁷⁴ Entrevista a Fuente 1 (2014b) e INVAP SE (2014).

⁷⁵ *Ibidem*.

⁷⁶ Entrevista a Fuente 1 (2014).

⁷⁷ Entrevista a Fuente 3 (2014a).

⁷⁸ Entrevista a Fuente 1 (2014).

⁷⁹ Entrevista a Fuente 3 (2014).

⁸⁰ *Ibidem*.

Primeros contactos entre FAA e INVAP

El estado general de la radarización para el año 2000 era precario, particularmente en materia de defensa.⁸¹ En ese contexto en el seno de la FAA comienzan a analizarse diversas alternativas para revertir la situación, agravada por la quiebra de Westinghouse, empresa fabricante de los radares primarios móviles AN TPS-43, puesto que ya no sería posible contar con ciertos repuestos para el material en uso -vinculado a actividades de defensa-.⁸²

Hacia el año 2001, la empresa INVAP comenzaba el diseño y construcción del reactor OPAL en Australia. El área Nuclear era muy fuerte en ese momento y la empresa ya tenía unos diez años de experiencia en el área Espacial.⁸³

Todo esto se daba en un contexto de cambio en INVAP: luego de un período de 15 años en el cual la empresa se había dedicado principalmente al área nuclear, o diversificaciones relacionadas con esta actividad, se pasó a un concepto de versatilidad en el que la dirección buscaba desarrollar una cultura donde la capacidad de lograr soluciones tecnológicas basadas en capacidades tecnológicas dinámicas (tales como desarrollo de software, hardware, química, sistemas de control, entre otras) permitiera realizar nuevos desarrollos para nuevos mercados.⁸⁴ En esta época se afianza en la cultura organizacional la autopercepción de la capacidad de responder a todo tipo de desafío tecno-productivo: se puede hacer cualquier desarrollo, solo falta dinero y tiempo.⁸⁵

El reactor OPAL, vendido a Australia e inaugurado en 2007, significó el ingreso de divisas por un total de 200 millones de dólares que, fin de la convertibilidad mediante, permitieron realizar sustanciales inversiones en pesos. Sin embargo, el fin del contrato en dicho país, en algún momento sería una realidad y la empresa enfrentaría la necesidad de buscar nuevos contratos con los cuales financiar su funcionamiento.

La necesidad de buscar nuevos mercados, explotando las capacidades existentes llevó a que la empresa hacia fines de 2002 y principios de 2003, realizara un ofrecimiento de desarrollo de un radar para aviones Pucará de la FAA. Las características del radar ofrecido estaban por fuera de los parámetros habituales, y si bien esta propuesta no cumplía con los requerimientos necesarios para su operación, fue el puntapié inicial para que comenzara una relación entre la FAA e INVAP. Este primer contacto le sirvió a la FAA para tomar conocimiento de

⁸¹ Según Fuente 2 (2014a), el motivo por el cual el control de tránsito aéreo era aceptable (estaban cubiertas las aerovías que representaban el 75% del tráfico aéreo comercial), radicaba en que esta actividad, ejercida por el Estado Nacional, tiene la particularidad de recaudar a través del cobro de tasas de aeronavegación, con lo cual se contaba con ciertos fondos para realizar el mantenimiento adecuado. En cambio, la actividad de control del espacio aéreo, al ser ligada a la defensa no genera ingresos de ningún tipo, por más que los radares primarios contribuyen al control del tráfico aéreo; Fuente 2 (2014a y 2014b) y Fuente 4 (2014).

⁸² Entrevista a Fuente 2 (2014a).

⁸³ Versino (2006).

⁸⁴ Seijo y Cantero (2008) analizan en profundidad el rol de las capacidades dinámicas al interior de INVAP.

⁸⁵ Este concepto, puede ser comprendido como un “supuesto básico” de la cultura organizacional de INVAP, que tal como mencionan Versino (2006), Versino, et al. (*Ibidem*) y Seijo y Cantero (2008), emerge una y otra vez cuando se realizan entrevistas a personas que son o han sido empleados de la empresa. También en entrevistas como la realizada a Fuente 1 (2014b) ha surgido este rasgo cultural.

que existía en la Argentina una empresa que contaba con la capacidad para llevar adelante el desarrollo de tecnología radar.⁸⁶

En el año 2003 la FAA organiza un Simposio de Actualización Radar, y se invita a representantes de INVAP a disertar sobre la trayectoria de la empresa y las capacidades en el área nuclear y satelital, con especial énfasis en gestión de proyectos complejos, y en electrónica de calidad, mostrando como casos de éxito el reciente diseño y desarrollo del SAR del satélite SAO-COM y el centro de control de misiones de Falda del Carmen. La empresa mostraba que poseía la capacidad real para fabricar radares: desde hacer la obra civil y las consolas de operación, hasta la electrónica de precisión y todo lo necesario para su desarrollo.⁸⁷

El Radar Secundario Monopulso Argentino

El conocimiento que tomó el personal superior de la FAA de estas actividades conllevó a que se considerara a INVAP como posible proveedora de tecnología radar, y gracias al establecimiento de lazos informales, a que comenzara a plantearse la posibilidad de que la empresa diseñara y desarrollara radares secundarios.^{88 89}

La Dirección de Sensores Radar (DSR) de la FAA, propone formalmente a la empresa, algún tiempo después, que presupueste el diseño y producción de radares de control de tránsito aéreo, al tiempo que se presenta el proyecto al Comando de Regiones Aéreas (CRA).⁹⁰ Este encargo era mutuamente beneficioso: desde la perspectiva de la FAA, por dos motivos: solucionaba la falta de cobertura radar en aquellas aerovías sin cobertura, a la vez que eliminaría paulatinamente la dependencia tecnológica de repuestos y actualizaciones.⁹¹ Desde la perspectiva de INVAP, constituía la oportunidad de aplicar capacidades y conocimientos en un nuevo artefacto, ampliando su cartera de productos a la vez que diversificaba el riesgo que la dependencia de los mercados reducidos en el área nuclear y satelital imponían a la empresa.

En marzo de 2003, durante la presidencia de Eduardo Duhalde, se firma un acuerdo marco entre la empresa y la FAA para el diseño, desarrollo, construcción y puesta en funcionamiento de un prototipo de radar secundario.⁹² Al mes siguiente se firma el contrato (*ad-referendum* de la aprobación del MD y de la Jefatura de Gabinete de Ministros) entre INVAP y la FAA que regulaba el desarrollo de los primeros diez radares secundarios (además del prototipo) a cuenta y riesgo de la empresa.⁹³ En dicho contrato se estipulaba que la DSR tenía un rol de asesoramiento técnico por ser el futuro usuario del desarrollo. Este contrato daba la posibilidad de continuar con el impulso logrado con el desarrollo del prototipo, permitiendo

⁸⁶ Entrevista a Fuente 2 (2014) y entrevista a Fuente 3 (2014).

⁸⁷ Entrevista a Fuente 2 (2014) y entrevista a Fuente 3 (2014).

⁸⁸ Entrevista a Fuente 2 (2014).

⁸⁹ Entrevista a Fuente 3 (2014).

⁹⁰ *Ibidem*.

⁹¹ Entrevista a Fuente 4 (2014).

⁹² El prototipo del radar secundario fue entregado por INVAP a la FAA durante el año 2007 y está emplazado en el aeropuerto de la ciudad de San Carlos de Bariloche.

⁹³ Banti *et al.* (2007)

avanzar con la fabricación de los radares secundarios durante el tiempo necesario para cumplir los procedimientos administrativos y burocráticos propios de la actividad estatal.⁹⁴

Posteriormente, en octubre de 2003, el MD firma un convenio con INVAP para la adquisición de once radares secundarios adicionales a un costo de cincuenta y nueve millones de pesos, y con un plazo de ejecución de cinco años. Con este antecedente en ejecución en 2004, durante la presidencia de Kirchner se crea el SINVICA.

Algunas reflexiones surgidas del análisis

En la primera parte de este trabajo se presentaron de manera sucinta las iniciales investigaciones y desarrollos de radares en diferentes países beligerantes de la IIGM (Alemania, Estados Unidos, Japón, la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas y el Reino Unido). En la segunda parte se abordaron las políticas de radarización en Argentina desde el año 1948 hasta el 2004, donde nos detuvimos en particular en el desarrollo de radares que realizó la empresa INVAP.

El objetivo de este trabajo es “abrir la caja negra” del radar, y mostrar que tanto en los procesos de investigación y desarrollo de ese artefacto producidos en aquellos países desarrollados como en la historia de las políticas de radarización en Argentina, el radar es inseparable de procesos políticos, económicos e ideológicos más amplios.

Conformación social de la tecnología

En la primera parte se mostró por ejemplo cómo la sociedad conforma la tecnología de radar. Inicialmente las estrategias de defensa o ataque en la IIGM influyeron en la percepción sobre la utilidad de esta tecnología y el modo de uso tanto de los radares como de la información de ellos obtenida. A su vez esto generó, que la utilidad percibida del radar implicara el desembolso de fondos, más o menos substanciales según el caso, para su desarrollo. Por ejemplo, en el caso de Alemania, se consideraba al radar como una tecnología fundamentalmente de defensa, por lo tanto, en el contexto de las aspiraciones imperialistas del país durante las décadas de 1930 y 1940 ese Estado no priorizó esta tecnología hasta después de la bien entrada la IIGM. Por el contrario, la estrategia básicamente defensiva del RU ante la amenaza de la Alemania nazi durante la década de 1930, llevó a aquel país a priorizar la inversión de recursos en la I+D del radar y a desarrollar un sistema integral de detección de aeronaves donde se comunicaba la información y se analizaba de manera centralizada. De esa manera en el RU se produjo una innovación que estuvo descentrada del artefacto tecnológico (el fetiche de los abordajes deterministas tecnológicos), porque se innovó en el uso de la información que se recogía del artefacto, por lo tanto, la novedad estuvo en un nivel organizacional, al planificar el envío de la información recogida a un Centro de Comando y Control Central. Además, fueron los primeros que dispusieron radares en artillería antiaérea y en aviones caza para la defensa durante ataques nocturnos.

⁹⁴ Entrevistas a Fuente 2 (2014) y Fuente 3 (2014).

También, en contra de las argumentaciones deterministas tecnológicas que siguen el modelo lineal de la innovación, donde toda tecnología es la consecuencia de un descubrimiento científico previo, en este trabajo se observó que eso no se produjo en el caso de los radares de microondas. Su desarrollo se basó en la invención del magnetrón de cavidades, artefacto del que no se había identificado a nivel científico la teoría que explicara sus principios cuando se lo utilizó en radares. La conformación social de la tecnología del radar también se pudo observar a partir de analizar la relación entre los sucesivos modelos de desarrollo y las políticas de radarización que conllevaron.

Políticas de radarización

Las políticas de radarización en Argentina estuvieron en principio influenciadas por los sucesivos modelos de desarrollo del país.

En el gobierno de Perón que va de 1946 a 1955, dominó una política de sustitución de importaciones y primó una ideología tecno-nacionalista que buscaba lograr autonomía en cuanto a armamento militar a través de la generación de capacidades a nivel científico y tecnológico. Como consecuencia de ello, y del Primer Plan Quinquenal, se iniciaron los primeros intentos de investigar y desarrollar radares a comienzos de la década de 1950. En este contexto de fortalecer las capacidades de defensa en 1948 se adquieren los primeros radares primarios para vigilancia y control del espacio aéreo que se instalaron en las provincias de Entre Ríos y Buenos Aires, donde se asentó más tarde el Centro de Información y Control (siguiendo la experiencia del RU). De esta manera la ubicación de los radares reproducía la centralidad de Buenos Aires, analizada por otros autores a nivel de las vías de comunicación y transporte, desde la perspectiva de la defensa.

Por su parte, durante la etapa de apertura económica y liberalización de los mercados propiciada por el último gobierno de facto, la cuestión de la radarización se intentó encarar en forma sistémica, a través de licitaciones internacionales de sistemas llave en mano. Al no avanzar el SICEA, principalmente por los altos costos asociados, se terminan adquiriendo radares primarios móviles (control del espacio aéreo) y se encara la radarización del territorio nacional para uso civil (control del tránsito aéreo comercial) a través de radares secundarios, a partir de la década de 1980.

El modelo neoliberal de apertura económica del gobierno de Menem también impactó en la política tecnológica de radarización. El Plan Nacional de Radarización de 1996 preveía la compra llave en mano del sistema de control del tráfico aéreo a partir de una licitación donde no se contemplaba la inversión en el desarrollo de capacidades locales para dominar el diseño de dicha tecnología.

Finalmente, a partir del 2004, cuando dominó una política de sustitución de importaciones en sectores considerados claves (energía, satélites, etc.) y donde se operaron cambios en las políticas nacionales de ciencia y tecnología (creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, aumento de los recursos del CONICET, etc.), y se invierte en el desarrollo de tecnologías locales consideradas estratégicas para el desarrollo de ciertas áreas de la industria nacional, se crea el SINVICA. Este tendrá entre sus objetivos el desarrollo de

radares por empresas nacionales argumentando que esa política en el país contribuirá más al desarrollo económico y social que la importación de tecnologías.

Este principio de correlación encontrado entre modelos de desarrollo y políticas de radarización debe ser matizado, porque durante gobiernos con políticas aperturistas, sin embargo, se produjeron procesos de acumulación de capacidades en instituciones que luego serían protagonistas de desarrollos locales en radares en contextos de revalorización del Estado como impulsor de la demanda de tecnologías, tal como se analiza a continuación.

Acumulación de aprendizajes en FAA e INVAP

Para que el país haya podido formular a partir del 2004 una política factible de radarización cuya característica singular es el diseño y el desarrollo local del sistema en su conjunto, fue necesario un doble proceso de acumulación de conocimientos, que permite definir la existencia de radares hechos en Argentina como un proceso *path dependent* doble, ya que fue necesario combinar (y hacer interactuar) dos trayectorias independientes: la de la FAA como institución usuaria de radares, y la de INVAP, como empresa desarrolladora de tecnologías.

Si bien las Fuerzas Armadas, como se ha analizado, tuvieron iniciativas tempranas en cuanto al estudio de la tecnología de microondas, en el LABE de la DGFM, y en el “Laboratorio Central de Electrónica de Aeronáutica” del Instituto Aerotécnico, en la década de 1950, y más allá del mantenimiento propio del material, el desarrollo nacional de radares era una actividad inédita.

El desarrollo nacional de radares primarios y secundarios fue posible gracias a la conjunción de las trayectorias realizadas por INVAP y FAA a lo largo de su existencia. Sólo una vez superadas algunas dificultades iniciales, principalmente de índole cultural y comunicacional, se dieron las condiciones para la creación de una fuerte sinergia entre estas organizaciones.

En lo relacionado a la FAA, esta acumulación de conocimientos fue paulatina: en un primer momento la fuerza se constituye en un usuario de una tecnología netamente importada, lo cual lleva a que la creación de cuadros técnicos para la operación y mantenimiento de radares fuera imperativa. La temprana creación del Grupo de Instrucción de Vigilancia Aérea en 1952 y el Escuadrón Estudios 1953 fueron iniciativas muy significativas en este sentido.

Posteriormente el hecho de ir adquiriendo material actualizado, llevó a que se desarrollara la capacidad de evaluación técnica de alternativas estándares, en un primer momento, y luego –con el establecimiento de requerimientos para licitaciones en el marco del SICEA (principios de la década de 1980) y del PNR (1996)- al desarrollo de la capacidad de comunicar requerimientos. Si bien ambos planes de radarización fueron infructuosos, permitieron el mantenimiento y acrecentamiento de esta capacidad de evaluación exhaustiva de opciones, por un lado, y por otro instalar la necesidad de un cambio en el marco tecnológico, de forma

que fuera posible la integración del control del espacio aéreo con la del tráfico aéreo en un único sistema integrado.⁹⁵

Hacia el año 2000, la FAA ya contaba con personal formado en operación y mantenimiento de radares, experiencia en la evaluación de productos alternativos y en la formulación de requerimientos para contratistas. Sin embargo, la necesidad de reemplazo del material sumada a la falta de repuestos y la falta de integración de la información de radares militares y civiles, hacían necesario, para algunos grupos al interior de la fuerza, el reemplazo de los sistemas existentes por un único sistema que integrara la información radar con fines de defensa con la orientada a la actividad aérea comercial.

A fin de que en Argentina se pudiera diseñar y desarrollar radares, estas capacidades sustanciales de la FAA eran insuficientes. Sólo una vez que pudieron ser combinadas con las capacidades que poseía INVAP, fue posible encarar el diseño y desarrollo de radares nacionales.

La empresa de base tecnológica INVAP en la década del 2000 ya contaba con más de treinta años de experiencia en desarrollo de proyectos tecnológicos complejos en las áreas nuclear, aeroespacial, industrial, equipamiento médico y científico, y gobierno y defensa. En particular, el desarrollo para la CONAE desde fines de la década de 1990 de los satélites SAO-COM que incluían un radar de apertura sintética (SAR) con fines científicos, y la acumulación de conocimientos que implicó su realización, posibilitó el rápido desarrollo de los radares en INVAP. Las capacidades tecnológicas dinámicas en desarrollo de software, hardware, sistemas de control, entre otras se conjugaron con la necesidad de buscar nuevos mercados y el interés de la FAA en superar la dificultad de obtención de repuestos para sus radares, primero, y la posibilidad de sustitución de importación de radares, luego.

Sin embargo, para el desarrollo local de radares fue necesario el establecimiento de relaciones entre ambas instituciones tendientes a crear un marco de significados comunes que facilitarían la fluidez de las comunicaciones necesaria para combinar los conocimientos propios de cada trayectoria.

Pero también fue necesario establecer una política pública que sirviera como marco legal y conceptual. De esta forma el Decreto 1407/04 es una norma que va más allá de la radarización en sí, y constituye un instrumento que ha impulsado –al tiempo que fortalecido– la capacidad del país para desarrollar y producir nuevas tecnologías, dando lugar a una interacción exitosa (en términos de alcanzar sus fines) entre dos organizaciones, y que debió conjugar la confluencia de diversos aspectos tecnológicos, ideológicos, económicos y políticos.

⁹⁵ El concepto de marco tecnológico, acuñado por Bijker (1987), es asimilable –según el autor– al concepto de paradigma de Khun, es un término amplio que hace referencia al marco de las teorías en uso, los objetivos perseguidos dentro de los grupos que los comparten, a la definición de lo que constituye un problema, y a las estrategias para abordarlo. Según Bijker estos marcos no son una característica de los sistemas o de los grupos, sino que constituyen un emergente sistémico de las relaciones entre los grupos sociales, que permite dar sentido a los artefactos, al tiempo que estructura las relaciones de los miembros del grupo.

Fuentes

- Banti, Liliana, Julio Bizzolatti, y Jorge E. Losada (2007), *Radarización - Segunda parte*, Buenos Aires, Observatorio de Políticas Públicas del Cuerpo de Administradores Gubernamentales, Jefatura de Gabinete de Ministros.
- CITEDEF (2014), *Reseña Histórica*. Disponible en: <http://www.citedef.gob.ar/institucional/resena-historica/> <último acceso: 14/10/2014>.
- CONAE (2014), *Misiones Satelitales*. Disponible en: <http://www.conae.gov.ar/index.php/espanol/misiones-satelitales/sacom/objetivos> <último acceso: 24/09/2014>.
- Decreto PEN 145/96, disponible en <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/30000-34999/33844/norma.htm>.
- Decreto PEN 1407/04, disponible en <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/95000-99999/99870/norma.htm>.
- Entrevista a Fuente 1, Personal de INVAP SE, realizada por Juan Martin Quiroga el 25 de abril de 2014(a).
- Entrevista a Fuente 1, Personal de INVAP SE, realizada por Juan Martin Quiroga el 5 de mayo de 2014(b).
- Entrevista a Fuente 10, Personal de INVAP SE, realizada por Daniel Quatrini el 30 de noviembre de 2011.
- Entrevista a Fuente 2, Personal Superior Fuerza Aérea Argentina, realizada por Juan Martin Quiroga el 6 de junio de 2014(a).
- Entrevista a Fuente 2, Personal Superior Fuerza Aérea Argentina, realizada por Juan Martin Quiroga el 4 de julio de 2014(b).
- Entrevista a Fuente 3, Personal de INVAP SE, realizada por Juan Martin Quiroga el 27 de junio de 2014(a).
- Entrevista a Fuente 4, Personal Superior Retirado de la Fuerza Aérea Argentina, realizada por Juan Martin Quiroga el 30 de Julio de 2014.
- Fuerza Aérea Argentina (2013), *Fuerza Aérea Argentina - Grupo de Vigilancia y Control del Espacio Aéreo*. Disponible en: www.fuerzaaerea.mil.ar/mision/vycea.html <último acceso: 06/11/2013>.
- INVAP SE (2014), “Radares de Apertura Sintética”, Disponible en: <http://www.invap.com.ar/es/proyectos/otros-proyectos/232-radares-de-apertura-sintetica.html> <último acceso: 24/09/2014>.

Bibliografía

- Adler, Emanuel (1988), “State Institutions, Ideology, and Autonomous Technological Development: Computers and Nuclear Energy in Argentina and Brazil”, *Latin American Research Review*, vol. 23, n° 2, pp. 59-90.
- Álvarez, Alvar; Antonio Martínez y Roberto Méndez (1993), *Tecnología en acción*, Barcelona, Rap.

- Anlló, Guillermo, y Fernando Peirano (2005), *Una mirada a los sistemas nacionales de innovación en el Mercosur: análisis y reflexiones a partir de los casos de Argentina y Uruguay*, Buenos Aires, CEPAL.
- Anónimo (1951), “Electrónica Puntal de la Aeronáutica”, *Mundo Atómico* vol. 2, n° 5, pp. 74-78.
- Anónimo (1952), “Ciencia Electrónica”, *Mundo Atómico*, vol. 3, n° 7, pp. 51-62.
- Artopoulos, Alejandro (2012), *Tecnología e innovación en países emergentes. La aventura del Pulqui II (1947-1960)*, Buenos Aires, Lenguaje claro Editora.
- Azpiazu, Daniel, Eduardo Basualdo y Martín Schorr (2001), *La industria argentina durante los años noventa: Profundización y consolidación de los rasgos centrales de la dinámica sectorial post-sustitutiva*, Buenos Aires, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Barcelona, Eduardo y Julio Villalonga (1992), *Relaciones carnales. La verdadera historia de la construcción y destrucción del misil Cóndor II*, Buenos Aires, Planeta.
- Belini, Claudio (2014), “La Dirección General de Fabricaciones Militares y su papel en la industrialización de posguerra (1941-1958)”, en Marcelo Rougier (dir.), *Estudios sobre la industria argentina 1*, Buenos Aires, Lenguaje claro Editora, pp.47-89.
- Beyerchen, Alan (1994), “On strategic goals as perceptual filters: interwar responses to the potential of radar in Germany, the UK and the US”, en Oskar Blumtritt, Hartmut Petzold y William Aspray (eds.), *Tracking the history of radar*, Piscataway (NJ), IEEE-Rutgers Center for the History of Electrical Engineering and Deutsches Museum, pp. 267-283.
- Bijker, Wiebe E. (1987), “The Social Construction of Bakelite: towards a theory of invention”, en Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes y Trevor Pinch, *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology of Science and Technology*, Cambridge, MIT Press.
- Bijker, Wiebe E. (1995), *Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs. Toward a Theory of Sociotechnical Change*, Cambridge, MIT Press.
- Brown, Louis (1999), *A radar history of World War II - Technical and military imperatives*, Bristol, Institute of Physics Publishing.
- Callon, Michel (1986), “Some Elements of a Sociology of Translation: Domestication of the Scallops and the Fishermen of St. Brieuç Bay”, en John Law (ed.), *Power, Action and Belief: A New Sociology of Knowledge?*, Londres, R.K.P., pp. 196-233.
- Carassai, Sebastián (1998), “Un mercado que elige, un estado que abdica, un crecimiento que posterga. La experiencia argentina de los años '90”, en Hugo Notcheff (ed.), *La economía a fin de siglo: fragmentación presente y desarrollo ausente*, Buenos Aires, EUDEBA, pp. 109-138.
- Castro Olivera, Juan (1 de Agosto de 1999), “Impugnarían la licitación de radares”, *La Nación*, Buenos Aires.
- Chernyak, Victor e Igor Ya Immoreev (2009), “A brief history of radar in the Soviet Union and Russia”, *IEEE AC&E Systems Magazine*, INSERT, pp. B1-B31.
- Daumas, Maurice (comp.) (1962-1968), *Histoire generale des techniques*, Paris, Presses Universitaires de France (3 vols.).

- Del Bello, Juan Carlos (2012), *Argentina: experiencias de transformación de la institucionalidad pública de apoyo a la innovación y al desarrollo tecnológico*, Buenos Aires, CEPAL.
- Goebel, Greg (2011), "The Wizard War: WW2 & The Origins Of Radar". Disponible en: www.vectorsite.net/ttwiz.html <último acceso: 01/07/2013>.
- González, Oscar Francisco (2014), *Vigilancia y Control Aéreo en Argentina*, Buenos Aires, Ediciones Argentinidad.
- Hughes, Thomas P. (1987) "The evolution of large technological systems", en Wiebe Bijker, Thomas P. Hughes y Trevor J. Pinch, *The social construction of technological systems. New directions in the sociology and history of technology*, Cambridge: MIT Press, pp 51-82.
- Hurtado, Diego (2010), *La ciencia argentina. Un proyecto inconcluso: 1930-2000*, Buenos Aires, Edhasa.
- Kaiser, W. (1994), "The development of electron tubes and of radar technology: the relationship of science and technology", en Oskar Blumtritt, Hartmut Petzold y William Aspray (eds.), *Tracking the history of radar*, Piscataway (NJ), IEEE-Rutgers Center for the History of Electrical Engineering and Deutsches Museum, pp. 217-236.
- Kenny, J. P. (1960). "History and Development of Radar". *Students' Quarterly Journal*, vol. 30, nro. 119, pp. 83-91.
- Kostenko, Alexei A., Alexander I. Nosich, e Irina A. Tishchenko (2001), "Radar prehistory, Soviet Side: three-coordinate L-Band pulse radar developed in Ukraine in the late 30's", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 43, nro. 3, pp. 44-47.
- Kozulj, Roberto y Manuel Lugones. (2007), "INVAP y el desarrollo de una trama tecnológica: evolución histórica y situación actual", en Marcelo Delfini, Daniela Dubbini, Manuel Lugones e Ivana Rivero (eds.), *Innovación y empleo en tramas productivas de Argentina*. Buenos Aires: Prometeo Libros, pp. 323-348.
- Kozulj, Roberto, Ailin Reising, Mariana García y Manuel Lugones (2005), "Estudio de la trama productiva INVAP SE" Bariloche: Subproyecto Fundación Bariloche PAV 57/2003 (IDEE 2005-16).
- Lalouf, Alberto (2004), "Desarrollo Tecnológico en Países Periféricos a partir de la cooptación de Recursos Humanos Calificados. Aviones de Caza a Reacción en la Argentina", *Convergencia. Revista de Ciencias Sociales*, vol. 11, nro. 35, pp. 221-248.
- Lalouf, Alberto (2005), *Construcción y Desconstrucción de un 'caza nacional': análisis socio-técnico de la experiencia de diseño y producción de los aviones Pulqui I y Pulqui II (Argentina 1946/2960)*. Tesis de Maestría en Ciencia, Tecnología y Sociedad, Universidad Nacional de Quilmes.
- Lugones, Manuel (2008), "La conformación del sector nuclear argentino: la empresa INVAP", en César Lorenzano (ed.), *Historia de la Ciencia III: selección de ponencias de las III Jornadas de historia de la ciencia argentina*, Caseros: UNTREF, pp. 159-166
- MacKenzie, Donald y Judy Wajcman (1985), "Introductory Essay", en Donald MacKenzie y Judy Wajcman, *The Social Shaping of Technology*, Milton Keynes and Philadelphia, Open University Press, pp. 1-47
- Ministerio de Defensa (2010). *Libro Blanco de la Defensa 2010*, Buenos Aires, MINDEF.

- Notcheff, Hugo (1998), “Neoconservadurismo y subdesarrollo. Una mirada a la economía argentina”, en Hugo Notcheff (ed.), *La economía a fin de siglo: fragmentación presente y desarrollo ausente*, Buenos Aires, EUDEBA, pp. 18-46.
- Ogburn, William y Meyer Nimkoff (1961), *Sociología*, Madrid, Aguilar.
- Picabea, Facundo (2010), *Análisis de la trayectoria tecno-productiva de la industria estatal argentina. El caso LAME (1952-1955)*, Tesis de Maestría, FLACSO, Argentina.
- Raccanello, Mario y Marcelo Rougier (2014), “Tractores y mitos del Estado empresario peronista”, en Marcelo Rougier (dir.), *Estudios sobre la industria argentina 1*, Buenos Aires, Lenguaje claro Editora, 145-196.
- Rougier, Marcelo (2013), “Militares e Industria: las alternativas de la producción minero-metalúrgica en la Argentina”, en Marcelo Rougier (dir.), *Estudios sobre la industria argentina 3*, Buenos Aires, Lenguaje claro Editora, 267-310.
- Sábato, Jorge (2014 [1980]), “Desarrollo Tecnológico en América Latina y el Caribe”, en Santiago Harriague y Domingo Quilici, *Estado, Política y Gestión de la Tecnología. Obras Escogidas (1962-1983)*, San Martín, UNSAM, pp. 201-218.
- Schorr, Martin (2001), *Mitos y realidades del Pensamiento Neoliberal: La evolución de la industria manufacturera argentina durante la década de los noventa*, Buenos Aires, FLACSO.
- Schvarzer, Jorge (1979), “Empresas públicas y desarrollo industrial en Argentina”, *Economía de América Latina*, CIDE, nro. 3.
- Seijo, Gustavo y Javier H. Cantero (2008), “¿Cómo construir un satélite a partir de un reactor nuclear? El enfoque de las capacidades dinámicas en empresas tecnológicas. (IDEE 2008-04)”, en Roberto Kozulj (coord.), *Proyecto de estudio de las tramas productivas en Argentina - PAV 57/2003*, Bariloche, Fundación Bariloche.
- Singer, Charles y Trevor Williams (1954), *A History of Technology*, Oxford, Oxford University Press.
- Skupch, Pedro Rodolfo (1972), “Nacionalización, libras bloqueadas y sustitución de importaciones”, *Desarrollo Económico*, vol. 12, nro. 47, pp. 477-493.
- Staudenmaier, John (1996), “Racionalidad frente a contingencia en la historia de la tecnología” en Merritt Roe Smith y Leo Marx (eds.), *Historia y determinismo tecnológico*, Alianza Editorial, Madrid, pp. 275-290.
- Süsskind, Charles (1994), “Radar as case study in simultaneous invention”, en Oskar Blumtritt, Hartmut Petzold y William Aspray (eds.), *Tracking the history of radar*, Piscataway (NJ), ICEE-Rutgers Center for the History of Electrical Engineering and Deutsches Museum, pp. 237-245.
- Thomas, Hernán (1999), *Dinâmicas de inovação na Argentina (1970-1995) Abertura comercial, crise sistêmica e rearticulação*, Tesis Doctoral, Departamento de Política Científica e Tecnológica UNICAMP, Brasil.
- Thumm, Manfred (2001), “Historical German Contributions to Physics and Applications of Electromagnetic Oscillations and Waves”, *Proc. Int. Conf. on Progress in Nonlinear Science*, Nizhny Novgorod, Rusia, pp. 623-643.

- Versino, Mariana Selva (2006), *Análise sócio-técnica de processos de produção de tecnologias intensivas em conhecimento em países subdesenvolvidos. A trajetória de uma empresa nuclear e espacial argentina (1970-2005)*, Tesis Doctoral, Universidad Estadual de Campinas - Instituto de Geociencias, Brasil.
- Versino, Mariana, Hernán Thomas, y Alberto Lalouf (2013a), “INVAP: Una empresa nuclear y espacial argentina”, en Hernán Thomas, Guillermo Santo y Mariana Fresoli (comps.), *Innovar en Argentina*, Buenos Aires, Lenguaje claro Editora, pp. 105-150.
- Versino, Mariana, Mariana Di Bello y José Buschini (2013b), “El campo de los estudios sociales en ciencia y tecnología y la formulación de las políticas de ciencia, tecnología e innovación productiva en el periodo democrático (1983-2013)”, *Cuestiones de Sociología*, nro. 9, pp. 359-365.
- White, Leslie A. (1965), *La ciencia de la cultura. Un estudio sobre el hombre y la civilización*, Buenos Aires, Paidós.
- Wilkinson, Roger I. (1946), “A Short Survey on Japanese radar”, *Electrical Engineering*, pp. 370-377.
- Williams, Rosalind (1996) “Las dimensiones políticas y feministas del determinismo tecnológico”, en Merritt Roe Smith y Leo Marx (eds.), *Historia y determinismo tecnológico*, Alianza Editorial, Madrid, pp. 233-251.
- Winner, Langdon (1993), “Upon opening the black box and finding it empty: social constructivism and the philosophy of technology”, *Science, Technology & Human Values* vol. 18, nro. 3, pp. 362-378.